





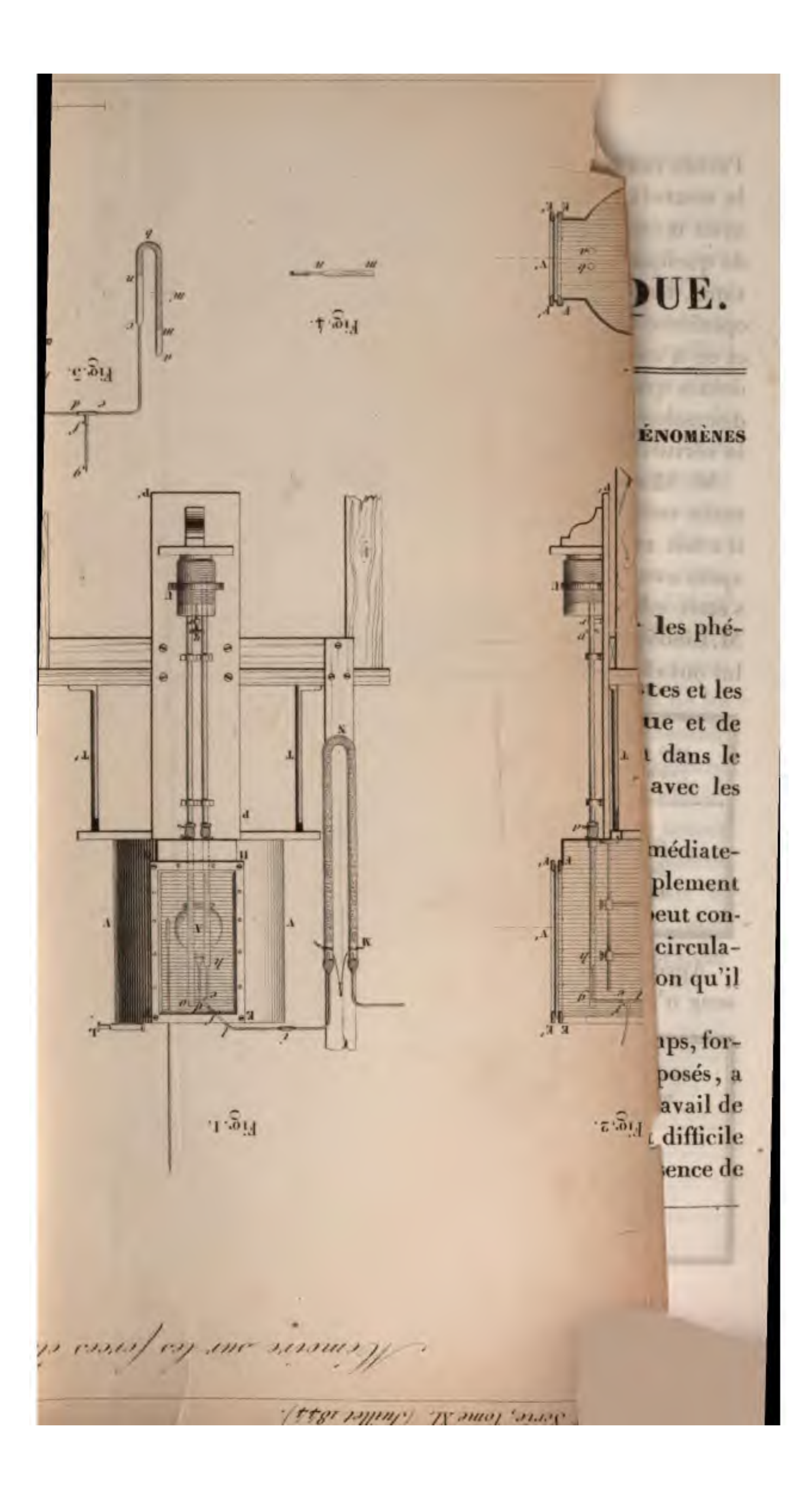
ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE.

TROISIÈME SÉRIE.

1844.



QUE.

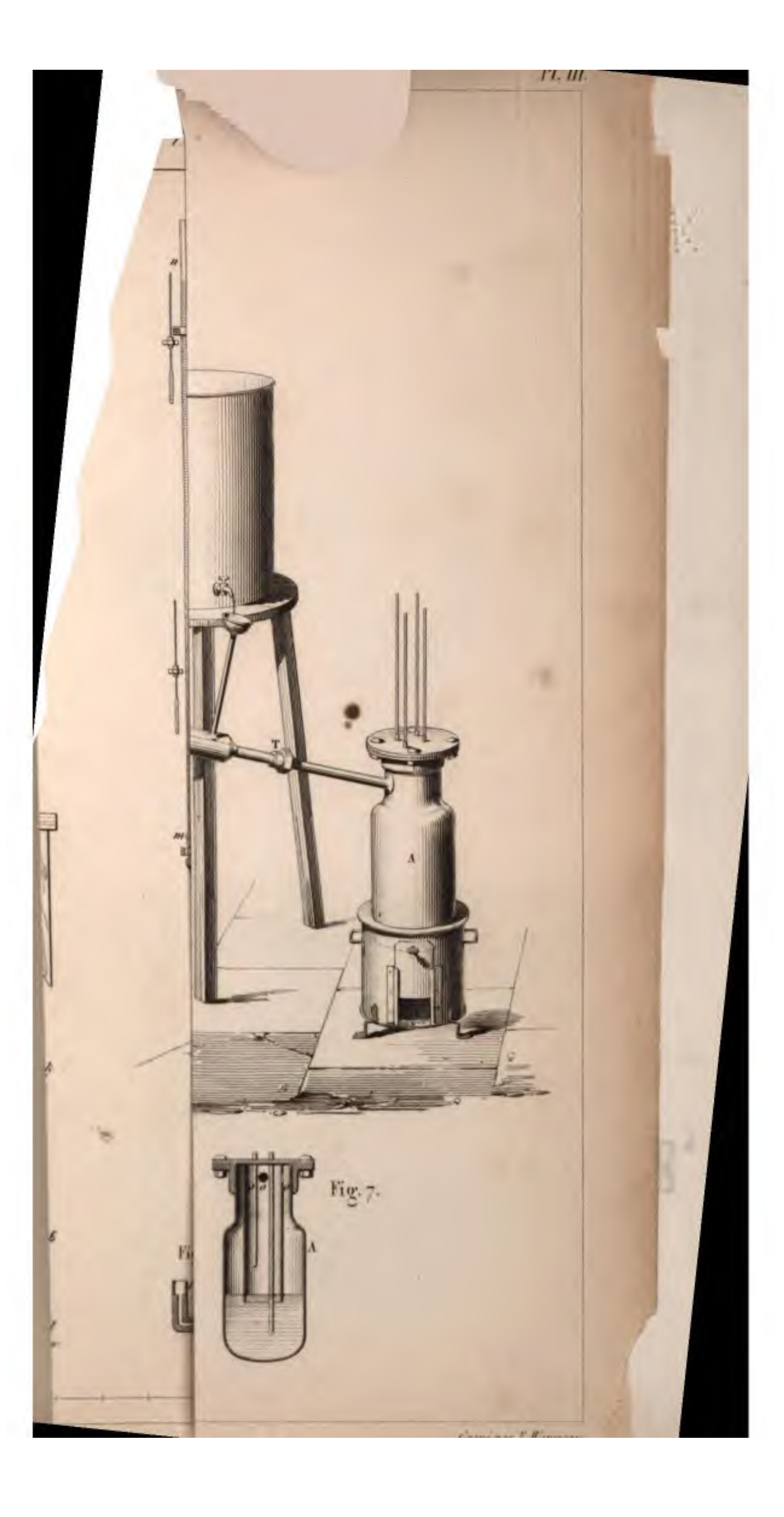
ÉNOMÈNES

les phé-

tes et les
ue et de
dans le
avec les

médiate-
plement
peut con-
circula-
on qu'il

nps, for-
posés, a
avail de
difficile
ence de


A
T
m
n
Fig. 7.
A

ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE.

OBSERVATIONS CRITIQUES SUR LA THÉORIE DES PHÉNOMÈNES CHIMIQUES DE LA RESPIRATION ;

PAR M. GAY-LUSSAC.

Deux théories principales ont été proposées sur les phénomènes chimiques de la respiration.

Dans l'une, longtemps adoptée par les chimistes et les physiologistes, la formation de l'acide carbonique et de l'eau, ainsi que la production de l'azote, ont lieu dans le poumon même, au contact de l'oxygène de l'air avec les vaisseaux capillaires sanguins.

Dans l'autre théorie, l'oxygène n'agit plus immédiatement dans le poumon sur le sang; il en est simplement absorbé, et les phénomènes chimiques auxquels il peut concourir se passent hors du poumon, dans le trajet circulatoire, et ce n'est qu'au retour du sang dans le poumon qu'il y verse les produits de l'oxygénation.

Cette dernière théorie, pressentie depuis longtemps, fortifiée et ébranlée tour à tour par quelques faits opposés, a enfin reçu cours dans la science depuis le dernier travail de M. Magnus sur la respiration (1): travail délicat et difficile qui a eu pour objet, en constatant dans le sang la présence de

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, tome LXV, page 169.

l'acide carbonique, de l'oxygène et de l'azote, de donner à la nouvelle théorie de la respiration une base solide qui lui avait manqué jusqu'à présent. A en juger par l'assentiment de quelques chimistes éminents, et par le silence de la critique, les recherches de M. Magnus semblent avoir fixé les opinions sur les phénomènes chimiques de la respiration; et ce n'est pas sans méfiance que je viens, pressé par les doutes qui se sont élevés dans mon esprit, soulever une discussion qui, du reste, n'a d'autre motif que l'intérêt de la vérité.

M. Magnus a d'abord cherché à constater que le sang humain veineux contenait de l'acide carbonique. A cette fin, il a fait traverser le sang par un courant d'hydrogène, qui, après avoir été desséché, cédait l'acide carbonique dont il s'était chargé à de la potasse dans l'appareil à boules de M. Liebig. Des expériences, qui ont duré chacune six heures, lui ont donné les résultats suivants :

SANG HUMAIN veineux.	ACIDE carbonique.	OU POUR 100 de sang.	ACIDE carbonique.
c.c. 66,8	c.c. 16,6	c.c. 100	c.c. 24,8
59,8	12,8	100	21,4
62,9	22,2	100	35,2

Après vingt-quatre heures, temps au bout duquel le sang n'avait encore aucune odeur :

SANG HUMAIN veineux.	ACIDE carbonique.	OU POUR 100 de sang.	ACIDE carbonique.
c.c. 66,8	c.c. 24,9	c.c. 100	c.c. 37,2
59,8	23,9	100	40,0
62,9	34,0	100	54,0

En remplaçant l'hydrogène par de l'air, de l'oxygène ou de l'azote, les résultats sont restés les mêmes.

Je ne m'arrêterai pas à discuter ces résultats, qui prouvent d'ailleurs que le sang contient beaucoup d'acide carbonique; je ferai remarquer seulement qu'ils ne sont pas complets, car il aurait fallu soumettre aux mêmes épreuves le sang artériel qui, lui aussi, contient de l'acide carbonique. Il eût fallu également déterminer les quantités relatives d'oxygène et d'azote contenues dans chaque espèce de sang. Mais cette lacune importante ayant été remplie dans une autre série d'expériences de M. Magnus, en soumettant le sang au vide produit par la machine pneumatique, nous porterons particulièrement notre attention sur les divers résultats qu'il a obtenus dans ces nouvelles circonstances. Nous devons les accepter tels qu'il les a livrés à la publicité et renvoyer pour les détails d'expérimentation au Mémoire même de M. Magnus. Le tableau suivant renferme tous ces résultats; nous nous sommes seulement permis de les disposer dans un autre ordre. Nous avons réuni ensemble les résultats qui se rapportent au sang artériel, et séparément de ceux-ci les résultats obtenus avec le sang veineux. Enfin, comme toutes les expériences doivent inspirer la même confiance, et pour atténuer les différences qui pourraient exister d'une expérience à l'autre, nous avons pris la moyenne des résultats pour chaque espèce de sang, sans avoir égard à la nature diverse des animaux qui l'avaient fourni.

Sang artériel.

ORIGINE DU SANG.	VOLUME du sang.	ACIDE carbonique	OXYGÈNE.	AZOTE.
	c.c.	c.c.	c.c.	c.c.
Sang artériel d'un cheval A.....	125	5,4	1,9	2,5
Sang artériel d'un cheval très-vieux, mais en bonne santé B.	130	10,7	4,1	1,5
Le même sang B.............	122	7,0	2,2	1,0
Sang artériel d'un veau C......	123	9,4	3,5	1,6
Le même sang C.............	108	7,0	3,0	2,6
	608	39,5	14,7	9,2
Ou, en ramenant à 100 le volume du sang....................	100	6,4967	2,4178	1,5131

Sang veineux.

Sang veineux du même cheval A, quatre jours après la prise du sang artériel.......	205	8,8	2,3	1,1
Le même sang veineux A......	195	10,0	2,5	1,7
Sang veineux du même vieux cheval B, recueilli trois jours après.	170	12,4	2,5	4,0
Sang veineux du même veau C, recueilli quatre jours après...	153	10,2	1,8	1,3
Le même sang veineux C.......	140	6,1	1,0	0,6
	863	47,5	10,1	8,7
Ou, en ramenant à 100........	100	5,5041	1,1703	1,0081

Avant d'interpréter les résultats contenus dans ce tableau, il est nécessaire d'exposer plus explicitement que nous ne l'avons fait en quoi consiste la nouvelle théorie.

Elle admet que, dans l'acte de la respiration, l'oxygène de l'air est absorbé par le sang artériel dans le poumon ; qu'il est ensuite entraîné dans le torrent de la circulation ; que dans ce trajet et par le travail secret des capillaires une certaine quantité se combine, partie avec du carbone pour former de l'acide carbonique qui reste en dissolution dans le sang,

partie avec de l'hydrogène pour former de l'eau. Le sang, ainsi chargé d'acide carbonique, et transformé en sang veineux, arrive dans le poumon où il abandonne à l'air son acide carbonique, reprend alors de l'oxygène, et, redevenu sang artériel, commence une nouvelle révolution.

Ainsi M. Magnus doit principalement prouver :

1°. Que le sang veineux doit contenir de l'acide carbonique et, au cas où le sang artériel en contiendrait aussi, plus que celui-ci ;

2°. Que la différence des quantités d'acide carbonique de l'un à l'autre sang doit satisfaire aux exigences de la respiration ;

3°. Que la quantité d'oxygène absorbée dans le poumon par le sang artériel et abandonnée ensuite dans le trajet de la circulation doit également satisfaire et à la production de l'acide carbonique et à celle de l'eau qui l'accompagne toujours dans l'acte de la respiration ;

4°. Que le sang veineux doit contenir de l'azote et plus que le sang artériel, au cas où celui-ci en contiendrait aussi.

Voyons donc si ces diverses conditions seront satisfaites par les expériences de M. Magnus.

Les résultats renfermés dans le dernier tableau prouvent avec la dernière évidence que le sang artériel et le sang veineux contiennent chacun en dissolution de l'acide carbonique, de l'oxygène et de l'azote. C'est un fait acquis à la science, si les expériences de M. Magnus sont incontestables. Mais en examinant les quantités relatives des gaz dans chaque espèce de sang, on y découvre bientôt des contradictions manifestes. Ainsi, tandis que 100 parties en volume de sang artériel ont produit 6,4967 d'acide carbonique, le sang veineux n'en a fourni que 5,5041. Et cependant les quantités relatives de l'acide, dans chaque sang, devraient être évidemment en sens contraire. Conséquemment, s'il n'existe pas quelque erreur inaperçue dans les résultats de

M. Magnus, si moi-même je ne me fais pas quelque illusion, la nouvelle théorie de la respiration s'écroulerait avec la base essentielle qui vient à lui manquer; car cette théorie exige que le sang veineux contienne plus d'acide carbonique que le sang artériel, et les expériences mêmes de M. Magnus déposent du contraire; le sang artériel contient 18 pour 100 en plus d'acide carbonique que le sang veineux.

Il est vrai que, par son procédé d'expérimentation, qui consiste, comme nous l'avons dit, à soumettre le sang à l'action du vide pour en dégager les gaz qu'il contient, M. Magnus n'a peut-être pas retiré du sang le dixième de l'acide carbonique qu'il peut contenir, puisqu'en faisant passer de l'hydrogène dans du sang veineux, il en a obtenu jusqu'à 54 pour 100 d'acide carbonique. Mais on n'en doit pas moins admettre que les fractions d'acide carbonique obtenues par M. Magnus doivent être proportionnelles aux quantités absolues contenues dans chaque espèce de sang, et que si, par le fait, elles ne l'étaient pas, il n'y aurait autre chose à en conclure, sinon que les expériences de M. Magnus sont tout à fait incomplètes et qu'elles ne peuvent prêter aucun appui à la nouvelle théorie de la respiration.

La même difficulté que pour l'acide carbonique se présente à l'égard de l'azote; le sang artériel devrait en contenir moins que le sang veineux, et, d'après le tableau des résultats de M. Magnus, il en contient moitié plus. On sait en effet qu'il se produit de l'azote dans l'acte de la respiration, et M. Despretz a prouvé même que le volume s'en élève environ au quart de celui de l'acide carbonique. Les faits seraient donc encore ici formellement en opposition avec la théorie.

Les proportions de l'oxygène marchent seules dans un sens favorable pour chaque espèce de sang, car 100 parties de sang artériel en ont donné 2,4178, et le sang veineux 1,1703 seulement, ou presque moitié moins. Mais en pré-

sence des résultats négatifs que nous avons signalés pour l'acide carbonique et pour l'azote, on peut se demander quelle valeur doit rester à celui concernant l'oxygène. Nous l'accepterons cependant et nous allons en examiner les conséquences.

Il est d'abord évident que puisque l'acide carbonique est produit, pendant l'acte de la respiration, aux dépens de l'oxygène absorbé par le sang, il doit y avoir un certain rapport entre les volumes de ces deux fluides élastiques. Si, par exemple, nous connaissions seulement le volume relatif de l'acide carbonique expiré dans un temps donné, nous saurions que le volume correspondant de l'oxygène absorbé doit au moins lui être égal, et cette condition ainsi établie, il serait facile de reconnaître si elle était satisfaite par les résultats directs de l'expérience. Malheureusement, ceux obtenus par M. Magnus sur la quantité d'acide carbonique contenu dans le sang artériel et dans le sang veineux, s'infirment réciproquement et n'ont absolument aucune valeur.

A défaut donc de données positives qui devraient ressortir du travail que nous discutons, nous puiserons en dehors celles qui nous seront nécessaires, et nous ne pourrons mieux faire que de prendre les données qu'a adoptées M. Magnus. Ces données sont :

1°. Que, d'après H. Davy, un homme expire en une minute 13 pouces cubes d'acide carbonique;

2°. Que chaque pulsation du cœur fournit 1 once de sang, et qu'en en supposant 75 par minute, il passe 75 onces de sang, soit 115,7 pouces cubes dans le même espace de temps.

Conséquemment, puisque 115,7 pouces cubes de sang en contiennent 13 d'acide carbonique, 100 de sang en contiendraient 11,23, quantité que pourrait très-bien fournir le sang, car M. Magnus admet, d'après ses expériences, qu'il en renferme bien plus de 20 pour 100.

Maintenant, en supposant que le sang veineux abandonne 11,23 pour 100 de son volume d'acide carbonique, il est évident que, pour le produire, le sang artériel devait contenir au moins un égal volume d'oxygène, soit 11,23.

De plus, comme dans l'acte de la respiration, sur 4 parties d'oxygène absorbé il y en a 3 qui se transforment en acide carbonique et 1 en eau, le sang aura dû prendre dans le poumon non pas seulement 11,23 d'oxygène, mais bien $11,23 + \frac{11,23}{3} = 14,97$, quantité qui est seize fois plus considérable que celle 0,926 que pourrait prendre l'eau pure dans les mêmes circonstances, c'est-à-dire en présence de l'air atmosphérique, et qui s'élèverait à $14,97 \times \frac{100}{21} = 71,3$ si le sang était en contact, au lieu d'air, avec une atmosphère d'oxygène (1).

Enfin, si l'on admet avec M. Magnus que le sang veineux, à son arrivée dans le poumon, conserve à peu près la moitié de l'oxygène primitivement contenu dans le sang artériel, la quantité totale que celui-ci devrait en renfermer à sa sortie du poumon serait, 1° de 14,97 destinés à former de l'acide carbonique et de l'eau, 2° de $\frac{14,97}{2}$ qui restent dans le sang veineux, c'est-à-dire, en somme, 22,45, ce qui supposerait que, en contact avec une atmosphère d'oxygène, 100 de sang artériel pourraient prendre $22,45 \times \frac{100}{21} = 106,9$ de gaz, ou plus que son volume. Assurément une telle solubilité de l'oxygène dans le sang, vingt-quatre fois plus forte que pour l'eau, n'est pas impossible; mais encore aurait-il fallu la prouver ou, au moins,

---

(1) J'admets, d'après d'anciennes observations qui me sont communes avec mon illustre ami M. de Humboldt, que l'eau qui a été en contact avec l'air atmosphérique contient $\frac{1}{36}$ de son volume d'air composé de $\frac{1}{3} = 0,926$ d'oxygène et de $\frac{2}{3} = 1,852$ d'azote; d'où on conclut que 100 d'eau en contact avec l'oxygène en dissoudraient 4,41, et avec l'azote 2,34.

la rendre vraisemblable. Je conviendrai, si l'on veut, que les données que j'ai adoptées après M. Magnus n'ont peut-être pas toute la certitude désirable, et qu'on peut à leur égard faire de larges concessions; mais, même en les altérant beaucoup, les objections tirées d'une solubilité si extraordinaire de l'oxygène dans le sang n'en auraient pas moins encore une très-grande force.

Ici, il est bien nécessaire de s'entendre sur l'idée qu'on doit se former de la réunion de l'oxygène avec le sang. A-t-elle lieu en vertu de l'affinité qui produit les combinaisons? est-ce simplement en vertu de celle qui préside aux dissolutions?

J'ai raisonné dans l'hypothèse d'une simple dissolution. M. Magnus l'a aussi adoptée, et il ne pouvait faire autrement. Cela est évident pour l'acide carbonique et pour l'azote; car ces deux gaz devant se dégager du sang au contact de l'air dans le poumon, il fallait qu'ils n'y fussent retenus que par une force très-faible, celle qui produit les dissolutions.

Quant à l'oxygène qui, après avoir été absorbé par le sang, ne s'en dégage que sous forme d'acide carbonique, il semble que M. Magnus aurait pu admettre qu'il se combine immédiatement et d'une manière intime avec le sang; il aurait ainsi éludé la difficulté que nous avons signalée d'une aussi grande solubilité que celle à laquelle nous avons été conduits pour satisfaire aux exigences de la théorie. Mais voici pourquoi M. Magnus n'a pu avoir recours à l'affinité pour fixer l'oxygène dans le sang. On lui aurait demandé alors pourquoi l'oxygène fixé dans le sang, en vertu d'une affinité chimique, n'aurait pas immédiatement produit son effet final? pourquoi son action se serait divisée en deux temps, l'un dans le poumon, et l'autre hors du poumon dans les capillaires, pour produire finalement de l'acide carbonique et de l'eau? M. Magnus a compris une difficulté qui aurait eu pour conséquence de faire retomber dans l'ancienne théorie,

phénomènes chimiques de la respiration est devenu nécessaire. Je l'avoue, je n'aurais pas osé l'entreprendre seul; mais j'ai la satisfaction d'annoncer que mon illustre confrère, M. Magendie, veut bien s'y associer. De nos efforts réunis, nous l'espérons du moins, pourront sortir quelques résultats utiles pour une plus parfaite connaissance de l'importante fonction de la respiration.

SUR LES PHÉNOMÈNES QUE PRÉSENTENT LES CORPS PROJETÉS SUR DES SURFACES CHAUDES;

PAR M. BOUTIGNY (d'Évreux).

[Suite (1).]

§ VII. — *Ce phénomène joue-t-il un rôle quelconque dans les explosions fulminantes des chaudières à vapeur?*

La vapeur employée comme force motrice offre tant de ressources et rend de si grands services à l'industrie, que l'on oublie volontiers ses inconvénients, et, dans certains cas, ses dangers. Mais cet oubli ne va pas jusqu'à méconnaître une des vérités aujourd'hui les mieux établies : c'est l'inutilité des moyens employés jusqu'à ce jour pour empêcher certaines explosions des chaudières à vapeur. S'il restait encore dans quelques esprits des doutes à cet égard, il suffirait, pour les dissiper sans retour, de rappeler l'explosion du *Butterfly* sur la Delaware, explosion telle, que le paquebot fut entièrement détruit, et que l'on n'eût jamais su ce qu'il était devenu sans des membres et des lambeaux de cadavres épars çà et là sur les rives du fleuve. Cette épouvantable catastrophe, qui coûta la vie à vingt-trois passagers et à tout l'équipage, s'accomplit entre Darby et Philadelphie, au mois d'août 1839.

Au mois de janvier 1841, une autre catastrophe jetait

(1) Voyez *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome IX, p. 350.

l'épouvante parmi les habitants des rives de la Saône. C'était *le Citis* qui sautait en l'air *à son premier voyage*, et qui tuait neuf personnes et en blessait grièvement six autres.

En 1842, c'est *le Riverain* qui fait explosion sur la Loire. Quarante-deux personnes sont victimes de ce terrible événement : celles qui n'ont pas été tuées sont horriblement défigurées. C'est *le Télégraphe* qui détonne sur les côtes d'Angleterre, et avec tant de violence, qu'on aurait cru entendre une batterie de canons. Le bateau a été mis en pièces ; treize passagers ont été tués et un très-grand nombre blessés.

Enfin *le Mohican*, remorquant le trois-mâts anglais *Edward-Thorn* et *le Star*, a fait explosion sur le Mississipi. Quatorze personnes ont perdu la vie dans cet événement, et *le Mohican* a pris feu immédiatement après l'explosion (1).

Ce petit nombre de faits, qu'il serait facile de multiplier en faisant quelques recherches dans les journaux, suffit, nous le pensons du moins, pour porter la conviction dans tous les esprits. On peut donc le répéter, les moyens employés jusqu'ici pour prévenir ces redoutables effets de la vapeur ont été souvent inutiles ; pourquoi ? parce que la cause de ces explosions est restée jusqu'à ce jour enveloppée d'une obscurité profonde. Mais le public commence à se préoccuper vivement du défaut de sûreté de la navigation à la vapeur, disons plus, des dangers que présente trop souvent ce moyen de transport, possédant d'ailleurs d'incontestables avantages. Il y a donc là une de ces grandes questions dont la solution fait époque dans les annales des sciences et de l'industrie.

Je ne m'occuperai, dans cette Note, que d'une cause d'explosion, celle qui naît de l'état sphéroïdal de l'eau, les

(1) Journaux de Rouen du 1er semestre 1842.

autres causes d'explosion ayant été analysées et étudiées avec le plus grand soin par des ingénieurs et des physiciens du plus grand mérite.

Je n'envisagerai cette question que sous le rapport pratique, et je ferai soigneusement abstraction de toute théorie de l'état sphéroïdal.

Cette cause d'explosion serait, depuis longtemps, l'objet de l'étude des ingénieurs et des physiciens, si l'on avait reconnu plus tôt:

1°. Que l'eau pouvait passer à l'état sphéroïdal en grandes masses;

2°. Que ce phénomène pouvait se produire à la température de + 171 degrés;

3°. Que l'équilibre de chaleur ne s'établissait jamais entre l'eau à l'état sphéroïdal et la chaudière, et que cet équilibre existait constamment entre la vapeur fournie par le sphéroïde et la chaudière dans laquelle il avait pris naissance. Mais des expériences étant indispensables pour mettre ces faits en relief, je vais en décrire quelques-unes qui montreront que je n'ai rien avancé qui ne soit exact et vrai.

Trente-cinquième expérience. — On prend une capsule hémisphérique de 0,05 à 0,10 de diamètre; on y verse quelques grammes d'eau, et on la soumet à l'action de la chaleur d'une bonne lampe à alcool à double courant d'air. La capsule s'échauffe et transmet la chaleur à l'eau qui entre en ébullition à + 100 degrés. Arrivée à cette température, la capsule ne s'échauffe plus, et toute la chaleur devient latente dans la vapeur. On sait que l'équilibre de chaleur est la loi du phénomène que je viens de décrire rapidement, c'est-à-dire que contenant et contenu sont constamment à la même température.

Lorsque l'ébullition est tumultueuse et qu'il reste peu d'eau dans la capsule, des gouttes d'eau sont lancées en l'air, et retombent à l'état sphéroïdal sur le fond de la capsule. Alors, si l'on verse de l'eau, même bouillante, dans

la capsule, elle ne bout plus, et sa température ne s'élève pas au delà de + 96°,5, tandis que celle de la capsule peut s'élever indéfiniment. C'est là un des plus curieux phénomènes qui se puissent voir, et qui suffirait seul pour modifier profondément les théories de la chaleur; mais j'ai dit que je laisserais la théorie de côté. Il est presque superflu d'ajouter que la loi d'équilibre de chaleur n'est point applicable à ce cas particulier, et qu'un peu plus tôt ou un peu plus tard, il faudra bien tenir compte de ce défaut d'équilibre.

Les choses étant dans cet état, si l'on verse tout à coup une grande masse d'eau (quelques grammes), elle s'étale dans la capsule, et s'évapore presque instantanément; ou bien si, au lieu de verser de l'eau en grandes masses, on éteint la lampe, la capsule, en se refroidissant, perd la force répulsive; l'eau repasse à l'état liquide ordinaire, et s'évapore en faisant explosion. Dans ces deux cas l'équilibre de chaleur reparaît.

Trente-sixième expérience. — Au lieu d'une capsule de $0^m,05$ à $0^m,10$, on en prend une de $0^m,50$ et d'une certaine épaisseur, on la fait rougir et on y verse doucement depuis $0^{l.},50$ jusqu'à 2 litres et même 3 litres d'eau. Un mouvement tumultueux, qui ressemble à l'ébullition, a lieu dans la masse du liquide, et un thermomètre que l'on y plonge indique la température de + 96 à + 98 degrés. L'évaporation est très-lente, et l'eau est projetée de toutes parts en gouttes plus ou moins volumineuses. Verse-t-on une plus grande masse d'eau dans la capsule en la faisant toujours tomber sur le même point, alors un phénomène particulier de réfraction annonce qne l'eau *mouille* la capsule, ce dont on serait d'ailleurs averti par les torrents de vapeur qui se dégagent de la masse d'eau. Maintenant, qu'on décuple, qu'on centuple la capacité de la capsule qui vient de servir, et l'on arrive aux proportions des chaudières à vapeur, et leur explosion s'explique avec une merveilleuse facilité.

Trente-septième expérience.—On verse 15 à 20 grammes

d'eau distillée dans une capsule d'argent presque plane et rouge de feu, on y fait arriver un filet d'eau froide par un des points de la circonférence de la capsule, et l'on observe ce qui se passe ; le sphéroïde s'étale du côté où l'eau arrive, mouille la capsule et bout vivement ; tandis que l'autre portion du sphéroïde conserve sa forme, ne mouille pas la capsule et ne bout pas. En cet état, si l'on chauffe fortement la capsule, toute la masse d'eau repasse à l'état sphéroïdal ; et le contraire a lieu si l'on refroidit la capsule, c'est-à-dire que l'eau s'étale, mouille la capsule et bout fortement.

Trente-huitième expérience. — On verse 2 grammes d'eau distillée dans une chaudière d'essai pyriforme, et on la place sur la flamme d'une lampe à alcool à double courant d'air ; on retire la lampe aussitôt que l'eau est en ébullition, et l'on bouche fortement la chaudière. Rien d'extraordinaire ne se manifeste : la vapeur d'eau se condensera, il se fera du vide dans l'appareil, et le bouchon sera attiré avec une certaine force vers l'intérieur de la chaudière ; tout cela pouvait être prévu d'avance.

Trente-neuvième expérience. — On fait chauffer le fond de la chaudière presque au rouge, et l'on y projette 2 grammes d'eau distillée au moyen d'une pipette ; on retire la lampe et l'on bouche fortement. Quelques instants après, un léger bruissement se fait entendre : c'est l'eau qui passe de l'état sphéroïdal à l'état liquide. L'instant qui suit ce bruit est signalé par une violente explosion, et le bouchon, s'il n'est pas attaché, est lancé en l'air avec beaucoup de force. Ce phénomène s'explique facilement : l'eau, en passant de l'état sphéroïdal à l'état liquide, mouille le fond de la chaudière, et se réduit instantanément en vapeur ; d'où l'explosion et la projection du bouchon.

Quarantième expérience. — La même que la précédente. Seulement, on remplace le bouchon par un autre bouchon, au travers duquel passe un tube terminé à l'extérieur par une ouverture de $\frac{1}{2}$ millimètre de diamètre, par laquelle

sort un petit jet de vapeur qui ne paraît pas avoir de tension, tant elle est rare; mais aussitôt que l'eau passe à l'état liquide, on aperçoit un jet de vapeur d'une grande vitesse qui sort par l'extrémité du tube, et le bouchon est lancé en l'air presque aussitôt, et avec autant de violence que dans l'expérience précédente.

Ici, la petite ouverture du tube représente une soupape, bonne pour les cas ordinaires, mais qui ne peut pas suffire à l'écoulement d'une grande masse de vapeurs, et l'explosion est la suite nécessaire de ce défaut d'écoulement. Mais si l'on remplace ce tube par un autre tube ayant l'ouverture extérieure de 3 ou 4 millimètres de diamètre, l'explosion n'a pas lieu, parce que la vapeur peut s'écouler presque aussi rapidement qu'elle est formée. Il faut remarquer dans cette circonstance qu'une ouverture de 3 ou 4 millimètres est une ouverture d'une très-grande dimension, eu égard à la quantité d'eau (2 grammes) qui peut être réduite instantanément en vapeur.

Quarante et unième expérience. — On a vu dans les expériences qui précèdent l'eau passer de l'état sphéroïdal à l'état liquide par la soustraction du foyer de chaleur, ou, ce qui revient au même, par le refroidissement de la chaudière. On va voir le même phénomène se reproduire dans cette expérience par l'addition de l'eau froide.

On fait chauffer le fond de l'instrument comme dans les autres expériences, on y projette 2 grammes d'eau distillée, on laisse la lampe sous l'appareil auquel on adapte un bouchon percé de deux trous donnant passage, l'un à un tube en S, dont la branche ascendante doit être longue de 0,40 environ, l'autre à un tube terminé par une ouverture capillaire L'appareil étant ainsi disposé, on verse de l'eau froide par le tube en S, et l'on observe l'extrémité du tube capillaire. Aussitôt qu'une certaine quantité d'eau a pénétré dans l'appareil, un jet rapide de vapeur s'élance par l'ouverture capillaire, le bouchon est projeté en l'air

avec violence, et les tubes sont réduits en très-petits fragments.

Cette expérience est dangereuse, mais elle cesse de l'être si l'on remplace le tube capillaire par un tube de 3 ou 4 millimètres d'ouverture extérieure. Alors l'explosion est remplacée par un jet continu de vapeur.

Quarante-deuxième expérience.—On verse dans la chaudière 2 grammes d'eau distillée, et on la bouche avec un bouchon enchaîné. On place la chaudière sur la lampe, et l'on surveille les mouvements du bouchon; bientôt on le voit lancé avec force par l'élasticité de la vapeur, on l'enfonce de nouveau dans l'orifice de la chaudière, d'où il est repoussé par la même force; on l'enfonce une seconde fois, puis une troisième et dernière, car il est rare d'obtenir plus de trois détonations avec cette quantité d'eau. Mais il est facile de comprendre que ce nombre de détonations pourrait être dépassé ou diminué, suivant le plus ou moins de capacité de la chaudière, le diamètre de son orifice, la justesse du bouchon, etc., etc.

Quarante-troisième expérience.—On fait chauffer la chaudière, et, lorsqu'elle est au rouge sombre, on y projette 2 grammes d'eau distillée et on la bouche avec le même bouchon enchaîné que celui qui a été employé dans l'expérience précédente. Le bouchon saute; on le replace, et il saute encore, et cela jusqu'à douze, treize et quatorze fois. L'intervalle entre chaque détonation varie de 8 à 12 secondes.

Il y a, dans cette expérience, tout un nouveau système de machines à vapeur fondé sur le défaut d'équilibre de chaleur et de tension; mais de grandes difficultés devront être vaincues avant que ce système passe dans la pratique.

C'est principalement des expériences quarante-deuxième et quarante-troisième que j'ai tiré ces conséquences audacieuses : *l'équilibre du calorique et l'équilibre de tension n'existent pas pour les corps à l'état sphéroïdal.* Voici

comment je crois avoir mis hors de doute la vérité de ces deux propositions.

Quarante-quatrième expérience. — On prend une capsule en fonte de $0^m,12$ de diamètre environ et on la fait rougir; on y projette 100 à 150 grammes d'eau distillée, qui passe immédiatement à l'état sphéroïdal, ou plutôt à l'état ellipsoïdal; on plonge au milieu de l'ellipsoïde la boule d'un thermomètre, et l'on observe la marche de la colonne de mercure qui oscille entre + 96 et + 98 degrés, mais qui reste stationnaire à + 96,5, lorsque l'ellipsoïde n'est point agité par un courant de vapeur qui le traverse. Ainsi on a, d'une part, la température de + 96,5; de l'autre, celle de 7 à 800 degrés : évidemment il n'y a point d'équilibre de chaleur.

Je sais bien qu'en opérant comme on vient de le faire, on n'est pas complétement à l'abri des chances d'erreur; mais la possibilité d'une erreur de 1 degré et même de plusieurs degrés, en présence d'un fait aussi capital, ne devait point m'arrêter. (*Voir* la *onzième expérience.*)

Quarante-cinquième expérience. — On fait rougir la chaudière, et l'on y verse 5 à 10 grammes d'eau distillée; puis on y plonge un thermomètre, de telle manière qu'il ne puisse pas toucher le sphéroïde, mais qu'il en approche le plus près possible.

On voit alors la colonne de mercure monter rapidement depuis la température ambiante jusqu'à je ne sais combien de degrés, car un thermomètre qui était gradué jusqu'à + 300 degrés s'est brisé, par suite de la dilatation du mercure, au delà de ce terme.

On m'objectera que c'est au rayonnement du vase que cette température est due; mais cela ne peut pas être, car rien ne s'oppose à ce que cette vapeur ne se mette en équilibre avec les parois du vase, et c'est en effet ce qui a lieu, ainsi que cela va être démontré dans un instant.

Dans cette expérience comme dans celles qui précèdent,

point d'équilibre de chaleur, point d'équilibre de tension.

Quarante-sixième expérience. — Reprenons l'expérience précédente au moment où le thermomètre marque 200 degrés ; versons assez d'eau froide dans le vase pour faire passer l'eau à l'état liquide, et observons la colonne du mercure. Aussitôt que l'eau a cessé d'être à l'état sphéroïdal, elle bout vivement : la capacité de la chaudière se remplit de vapeur, et le thermomètre descend tout à coup à + 100 degrés. Pourquoi ce résultat ? parce que l'eau, en cessant d'être à l'état sphéroïdal, rentre et fait rentrer tout l'appareil sous les lois de l'équilibre de chaleur.

Il a été dit plus haut que la vapeur des corps à l'état sphéroïdal prenait la température du vase qui la contenait. Prouvons qu'il en est ainsi.

On se rappelle l'expérience quarante-troisième, dans laquelle on obtient douze ou quatorze détonations avec une quantité d'eau donnée, tandis que la même quantité d'eau à l'état liquide n'en peut donner que trois ou quatre tout au plus ; on se rappelle encore que l'eau à l'état sphéroïdal ne donne que des vapeurs très-rares (quarantième expérience), et enfin que l'eau dans le même état moléculaire est constamment à la température de + 96°,5. Or, si l'eau à l'état sphéroïdal ne donne que des vapeurs très-rares, et que néanmoins on obtienne un effet dynamique triple de celui qu'elle donne à l'état liquide, étant soumise à l'action d'une chaleur égale, dans les deux cas, il faut admettre de toute nécessité que le défaut de vapeur est compensé par la grande élévation de sa température. On sait, en effet, que la tension de la vapeur n'est point proportionnelle à la température, mais l'on sait aussi qu'elle est d'autant plus grande que la température est plus élevée.

La tension de la vapeur à	+ 100	=	1 atmosph.
	+ 265	=	50
	+ 311	=	100
	+ 516	=	1000

Voici une dernière expérience qui n'est pas moins concluante que celles qui viennent d'être décrites.

Quarante-septième expérience.—Même préparation que pour la quarante-troisième expérience. Aussitôt que l'on a versé l'eau, on abaisse la mèche de la lampe, ce qui occasionne un abaissement dans la température de la chaudière ; on la ferme au moyen du bouchon enchaîné, et l'on note le temps qui s'écoule entre chaque détonation : il est de $1^m\,10^s$, $1^m\,15^s$ et jusqu'à $1^m 40^s$, et il est rare d'obtenir plus de trois ou quatre détonations. Et cela doit être : ici la température *en moins* doit être remplacée par de la vapeur *en plus*. Ce qui est fort remarquable, c'est que l'on obtient à peu près le même effet dynamique que dans la quarante-deuxième expérience. Je n'ai pas besoin d'ajouter, je pense, que dans cette expérience (la quarante-septième) l'eau ne cesse pas d'être à l'état sphéroïdal. Cela prouve, en outre, qu'il peut arriver que l'eau soit à l'état sphéroïdal dans les chaudières, à l'insu des chauffeurs ; car les machines peuvent fonctionner comme avec de l'eau à l'état liquide ordinaire, et sans que rien puisse faire soupçonner cet état anormal, sauf pourtant le niveau de l'eau.

Examinons maintenant dans quels cas l'eau peut passer à l'état sphéroïdal dans les chaudières à vapeur, et comment elle peut être la cause de leur explosion.

Lorsque les issues de la vapeur sont fermées, ce qui arrive dans un grand nombre de circonstances, la température ne cesse point pour cela de s'élever, et s'il est vrai de dire que l'eau est toujours soumise à l'empire des lois de la chaleur, il est vrai de dire aussi qu'elle est sur la limite de cet empire, et que la plus petite cause peut l'en faire sortir, ainsi qu'on va le voir. Lorsqu'une chaudière se trouve dans les conditions que je viens de dire, l'eau qu'elle contient est soumise à l'action de deux forces qui se neutralisent réciproquement : la pression exercée par la vapeur à la surface de l'eau, et la force répulsive de la chaudière qui agit en

dessous. Vient-on à ouvrir un robinet, la vapeur s'élance rapidement par cette ouverture; il se fait du vide, et l'eau, repoussée par le fond de la chaudière, et *attirée* en quelque sorte par le vide qui s'est formé presque instantanément, se trouve projetée à la partie supérieure de la chaudière. Mais tout cela ne dure qu'un instant; l'eau, obéissant aux lois de la pesanteur, retombe sur le fond de la chaudière et passe à l'état sphéroïdal (expérience trente-cinquième); alors elle fournit peu de vapeur, l'équilibre de chaleur n'existe plus, l'explosion est imminente, et elle peut se faire de deux manières: 1° par l'addition d'une certaine quantité d'eau froide (expériences trente-sixième et quarante et unième); 2° par l'extinction des feux (expériences trente-septième, trente-neuvième et quarantième).

L'eau peut encore passer à l'état sphéroïdal dans les chaudières à vapeur lorsqu'elles viennent à manquer d'eau, ce qui peut avoir lieu par la négligence du mécanicien, ou par un accident survenu à la pompe alimentaire, etc.; alors l'eau qui arrive dans la chaudière passe à l'état sphéroïdal, et l'explosion se fait ensuite, comme cela a été décrit rapidement plus haut.

Mais pour bien concevoir l'explosion des chaudières à vapeur par suite de l'état sphéroïdal de l'eau, il faut se bien pénétrer de ces deux vérités capitales, savoir : que l'équilibre de chaleur n'existe pas entre le sphéroïde et la chaudière, tandis que cet équilibre existe entre la vapeur et cette même chaudière. Ceci posé, il devient très-facile d'expliquer ces épouvantables explosions auxquelles rien ne résiste et auxquelles, il faut le dire, rien ne saurait résister.

Supposons une chaudière de la capacité de 100 litres, admettons qu'il n'y ait dans cette chaudière que 10 litres d'eau à l'état sphéroïdal, admettons encore que la température de la chaudière soit à 600 ou 700 degrés, et celle de l'eau à 96°,5 (expériences trente-sixième et quarante-quatrième). Mainte-

nant, que l'on fasse arriver dans cette chaudière une masse d'eau assez considérable pour détruire l'état sphéroïdal de celle qui s'y trouve (expériences trente-sixième, trente-septième et quarante et unième), et il se formera immédiatement au moins *dix-sept mille litres de vapeur* qui se mettront en équilibre de chaleur avec la chaudière, ce qui pourra porter sa tension à un degré vraiment effrayant. Est-il besoin de répéter que rien ne saurait résister à une pareille force? je ne le pense pas. La rupture de la chaudière aurait également lieu si l'eau changeait d'état par suite d'un léger refroidissement de la chaudière (expériences trente-neuvième et quarantième). Si l'on ajoute à cette cause d'explosion la décomposition de la vapeur d'eau qui se fait toujours daus les chaudières en fer qui contiennent de l'eau à l'état sphéroïdal, *et seulement dans ce cas-là,* on pourra se faire une juste idée de ces épouvantables explosions qui sèment partout la dévastation et la mort.

Je pourrais ajouter de longs développements aux quelques mots qui précèdent, mais je les crois parfaitement inutiles : les faits parlent assez et beaucoup mieux que je ne le pourrais faire.

Abordons maintenant un autre côté de la question, celui d'empêcher l'état sphéroïdal de naître.

L'état sphéroïdal de l'eau étant une des causes d'explosion des chaudières, comment l'empêcher de naître? Ici, je l'avoue, je n'ai que des conjectures à présenter. Il est certain qu'avec une surveillance active, incessante, de bons flotteurs, des soupapes sifflantes, etc., et surtout des pompes alimentaires fonctionnant toujours bien, on parviendrait, dans la plupart des cas, à prévenir toute espèce d'explosions. Malheureusement il ne saurait en être ainsi. Il faut donc chercher un moyen d'empêcher l'état sphéroïdal de l'eau; mais, ainsi que je l'ai dit, je n'ai que des conjectures à présenter sur ce point.

J'ai remarqué dès l'origine (1836) de mes recherches sur

l'état sphéroïdal des corps, que le poli des surfaces exerçait une grande influence sur ce phénomène, et l'idée m'est venue tout naturellement de hérisser de pointes le fond des chaudières. J'ai remarqué aussi que les eaux contenant des sels en dissolution passaient moins facilement à l'état sphéroïdal que celles qui n'en contenaient pas, et l'idée m'est venue tout naturellement encore de faire dissoudre un sel quelconque dans l'eau, et de préférence un sel déliquescent, comme le chlorure de calcium; mais les pointes et les sels n'empêchent pas absolument l'eau de passer à l'état sphéroïdal.

D'un autre côté, les pointes fixées sur le fond d'une chaudière avaient des inconvénients et en rendaient le nettoyage difficile et presque périlleux. Alors j'ai imaginé de mettre dans les chaudières des spirales mobiles en fer, ou des prismes à quatre faces, disposés de telle sorte qu'un sommet des angles fût toujours perpendiculaire à la surface sur laquelle ils se seraient trouvés. Cette dernière disposition me paraît bonne; elle mérite, je crois, d'être essayée. Il devient indispensable aussi d'essayer d'un autre mode de chauffage des chaudières; le chauffage en dessous doit être absolument proscrit et remplacé par un chauffage latéral. Si je suis bien informé, il a déjà été construit plusieurs chaudières d'après ce dernier système, et elles ont parfaitement fonctionné jusqu'à ce jour.

L'eau étant à l'état sphéroïdal, comment empêcher l'explosion de la chaudière?

Si ce cas-là se présente en pleine mer, et qu'il faille lutter contre les vents et les courants, ou contre un bâtiment ennemi, il faut continuer à marcher comme dans l'expérience quarante-troisième, en ayant le plus grand soin de faire grand feu, et de n'introduire dans la chaudière qu'une petite quantité d'eau à la fois. Si, au contraire, ce phénomène se manifeste à terre ou sur un fleuve, on arrête la machine, on continue de faire grand feu, et l'on s'empresse de vider

la chaudière par tous les moyens dont on peut disposer; ensuite on la laisse refroidir; après quoi, on établit un courant d'air dans la chaudière pour en chasser le gaz hydrogène qu'elle contient presque toujours.

Appendice.

Je décrirai dans cet appendice un certain nombre d'expériences qui appartiennent à l'ordre des faits que j'étudie, et qui ont des rapports multipliés avec celles précédemment décrites; mais les conséquences que l'on en peut déduire, et que j'en déduirai ultérieurement, peuvent être, ou plus générales, ou se rapporter à d'autres phénomènes que ceux que j'ai fait connaître au commencement de ce Mémoire.

Quarante-huitième expérience.—On fait rougir une capsule en argent, légèrement emboutie, et l'on y verse une certaine quantité d'eau distillée pour former un ellipsoïde très-aplati; on abaisse la mèche de la lampe, et l'on observe l'eau avec attention; au bout de quelque temps, elle a de la tendance à repasser à l'état de liquide ordinaire, et l'on voit des myriades de bulles se former au contact de la capsule. Si on laisse les choses dans cet état, seulement 2 secondes, l'eau mouille définitivement la capsule, et elle bout avec force; si, au contraire, on s'empresse de relever la mèche de la lampe, la capsule reprend la propriété de repousser l'eau, les bulles disparaissent, et elle recouvre sa transparence primitive.

Quarante-neuvième expérience. — On fait rougir la capsule en fonte dont on s'est servi pour l'expérience quarante-quatrième, puis on attache un morceau de glace du poids de 100 à 150 grammes avec un fil de fer fin, et de manière que le morceau de glace se trouve placé à une certaine distance du centre de la capsule. La boule d'un thermomètre disposé d'avance est placée au centre de la capsule et seulement à une distance de 2 à 3 millimètres de sa paroi. Voici ce qui se passe : la glace se fond et passe à l'état sphéroïdal sans pas-

ser préalablement à l'état liquide ordinaire, et le thermomètre indique constamment la température de + 96°,5, qu'il y ait ou non de la glace.

Quand on n'a pas de thermomètre convenable à sa disposition, cette expérience peut se faire de la manière suivante.

Cinquantième expérience.— On fait rougir une capsule en argent de 5 à 6 centimètres de diamètre, et on y projette un petit morceau de glace de 3 à 5 grammes, et quand la moitié à peu près de cette glace est à l'état sphéroïdal, on saisit la capsule avec des pinces et on verse rapidement son contenu dans la main, si l'on a la main délicate; au contraire, si l'on a la main calleuse, on le verse sur le dos de la main. Dans les deux cas, on éprouve d'abord une sensation de chaleur, ensuite une sensation de froid occasionnée, l'une, par l'eau à l'état sphéroïdal, et l'autre, par le fragment de glace non liquéfié qui ramène rapidement l'eau à 0 degré.

Ces deux dernières expériences me semblent établir que la loi du passage de l'état solide à l'état liquide diffère de celle du passage de l'état solide à l'état sphéroïdal. Je reviendrai sur ce point en temps et lieu.

En attendant, faisons remarquer que l'eau qui jouit d'un pouvoir réflecteur absolu à + 96°,5 (vingt et unième expérience) absorbe tout d'un coup, pour ainsi dire, tout le calorique nécessaire pour prendre cette température (+96°,5) au delà de laquelle elle ne s'échauffe plus. Pourquoi? comment? On l'ignore et on l'ignorera probablement toujours. Il y a là un de ces mystères profonds qui confondent la raison et qui mettent à nu l'impuissance de l'esprit humain.

Cinquante et unième expérience.—On fait tomber, d'une hauteur de 15 mètres, des gouttes d'eau dans une capsule rouge de feu; elles ne la mouillent pas, et elles passent à l'état sphéroïdal aussi facilement que si on les laissait tomber d'une hauteur de quelques centimètres.

Ce résultat nouveau, capital, je puis le dire, me donna le désir de répéter cette expérience en faisant tomber de l'eau d'une grande hauteur. J'en parlai à M. Destouches, architecte du Panthéon, qui eut l'obligeance de me faire ouvrir le *trou de service* que l'on voit au sommet de la coupole, et c'est de cette hauteur que nous avons laissé tomber l'eau destinée à nos observations.

Avant de décrire cette expérience, d'ailleurs fort simple, qu'il me soit permis d'offrir mes remercîments à M. Destouches pour son empressement à favoriser ces recherches. J'éprouve un véritable plaisir à publier que cette expérience est principalement due à cet habile architecte qui nous a placés dans les meilleures conditions de succès.

C'est le 28 mars que nous avons fait cette expérience. Le temps était pluvieux, et l'air saturé d'humidité. Mon excellent ami, M. Renard, avait bien voulu m'accompagner pour m'aider de nouveau dans cette circonstance. L'un de nous resta en bas, sur le sol, au centre de la mosaïque, où il fit rougir, à l'aide d'un bon éolipyle, une capsule en platine de $0^{m},18$ de diamètre; l'autre monta sur la coupole, d'où il laissa tomber de l'eau distillée en assez grande quantité. Cette eau se divisait et arrivait sur le sol en gouttes plus ou moins volumineuses, et conséquemment avec des vitesses différentes; celles qui se trouvaient dans la direction de la capsule y étaient retenues et *passaient immédiatement à l'état sphéroïdal,* ainsi qu'on l'a vu plus haut, ainsi qu'on l'a vu dans tout le cours de ce Mémoire.

La hauteur totale du Panthéon est de 79 mètres. En retranchant 9 mètres pour la partie qui surmonte la coupole, il reste 70 mètres pour la hauteur de laquelle l'eau tombait dans la capsule.

En se rappelant la loi de la chute des corps, on peut facilement se rendre compte de la vitesse de l'eau en arrivant dans la capsule.

Cinquante-deuxième expérience.— On passe $0^{gr},50$ d'ar-

gent à la coupelle, et lorsque l'opération est presque terminée, que les couleurs de l'iris se manifestent, on observe le globule avec attention et l'on reconnaît que sa forme est celle d'une sphère parfaite qui semble ne pas être en contact avec la coupelle, ou n'y être que par un point; mais au moment où l'éclair a lieu, le globule se solidifie et s'aplatit tout d'un coup; sa forme alors est hémisphérique, sauf la courbe de la coupelle sur laquelle le métal est solidifié.

Cinquante-troisième expérience. — Un phénomène parfaitement analogue a lieu dans la solidification du mercure qui se moule avec beaucoup d'exactitude sur la surface du vase dans lequel la congélation s'opère.

On sait que la température d'un métal s'élève au moment où il change d'état, au moment où il passe de l'état liquide à l'état solide; on dit alors que le calorique de liquéfaction, de latent qu'il était, devient libre et appréciable au moyen du thermomètre.

Je crains qu'il n'en soit pas ainsi. Toutefois, je n'émettrai mon opinion sur ce point qu'en faisant toutes mes réserves pour l'avenir.

Le passage de la glace à l'état sphéroïdal, dans les expériences quarante-neuvième et cinquantième, n'a-t-il pas la plus grande analogie avec ce qu'on appelle la fusion des métaux? et l'élévation subite de la température de ceux-ci, quand ils passent de l'état liquide à l'état solide, ne pourrait-elle pas être attribuée à ce qu'*ils mouillent* le creuset ou le vase qui les contient et auquel ils empruntent du calorique, ainsi que nous l'avons observé pour les corps non métalliques à l'état sphéroïdal, et plus particulièrement dans la onzième expérience?

Et si mes conjectures étaient fondées à cet égard, ne serait-on pas autorisé à dire que la température de l'ébullition des métaux est inconnue, et qu'ils n'ont été étudiés jusqu'à ce jour qu'à l'état solide, à l'état sphéroïdal et à l'état gazeux?

D'après cela, le métal, en passant de *l'état sphéroïdal* (état liquide des physiciens) à l'état solide, passerait préalablement à l'état de liquide ordinaire, de *liquide mouillant*, et ce passage serait marqué, pour l'argent et pour le mercure, par l'aplatissement des sphéroïdes et par l'élévation de leur température; mais des causes inconnues jusqu'ici les font passer presque instantanément à l'état solide.

Le phénomène que présente l'argent, quand il roche, ne pourrait-il pas être dû à l'ébullition de ce métal, ébullition aussitôt interrompue par sa solidification?

Du reste, les difficultés que présente la solution de ces divers problèmes ne sont pas de celles qu'on n'ose aborder, et j'espère que, le temps aidant, je parviendrai à les surmonter. Deux points de la question fixeront tout d'abord mon attention, à savoir: 1° si le creuset se refroidit au moment où la température du métal qu'il contient s'élève, et si le refroidissement du creuset est proportionnel à l'échauffement du métal; 2° si les métaux en fusion ont une température maximum qu'ils ne sauraient dépasser, quelle que soit l'intensité du foyer à l'action duquel ils seraient soumis.

Cinquante-quatrième expérience. — On fait rougir une capsule, soit en platine, soit en porcelaine, et on y verse assez de mercure pour former un ellipsoïde aplati. Presque aussitôt, il se manifeste dans la masse un mouvement tumultueux qui ressemble à l'ébullition et qui a toujours lieu, ainsi qu'on l'a vu précédemment (expériences onzième, trente-sixième et quarante-quatrième), quand la matière sur laquelle on expérimente dépasse de beaucoup les proportions voulues pour qu'elle affecte la forme sphérique. Mais, lorsque la quantité de mercure est réduite à l'état de sphère, l'évaporation se fait par la surface sans aucun signe d'ébullition, et avec une telle régularité qu'elle est insensible à l'œil.

Cette dernière expérience me rappelle une observation qui a peut-être quelque valeur et que j'ai faite il y a déjà

longtemps : c'est que *le volume des sphéroïdes paraît être proportionnel à leur poids spécifique et en raison inverse de ce poids*. Ainsi le sphéroïde d'éther a un très-grand diamètre comparativement à celui du mercure.

Serait-il téméraire de dire que les masses de tous les sphéroïdes que nous avons étudiés sont égales entre elles?

Cinquante-cinquième expérience. — On fait passer 1 gramme d'éther à l'état sphéroïdal dans une capsule en argent presque plane et on y ajoute quelques grains de poudre de gaïac. L'éther se volatilise et rassemble la poudre de gaïac à la partie la plus déclive de la capsule où il se charbonne et se fixe solidement. Alors on y projette 1 gramme environ d'eau distillée et on lui imprime un mouvement de rotation autour du point charbonneux, puis on l'abandonne à elle-même. Voici ce qu'on observe : le mouvement continue, il est d'abord lent, puis il s'accélère et finit par acquérir une telle vitesse, que l'œil ne saurait plus le suivre. Quelquefois la force centrifuge rejette la masse d'eau à la circonférence de la capsule, mais la pesanteur la ramène immédiatement au centre, et le mouvement recommence.

Ce mouvement accéléré de la masse d'eau peut s'expliquer, je crois, très-facilement. Il est dû à la vapeur fournie par le sphéroïde; or le sphéroïde ne donne de vapeur que par ses surfaces, et ces surfaces ne diminuent pas dans le même rapport que la masse, la masse étant comme le cube des dimensions, et les surfaces seulement comme le carré des mêmes dimensions. Il suit de là que la résistance décroît plus rapidement que la puissance, d'où l'accélération du mouvement du sphéroïde.

Cinquante-sixième expérience. — On fait rougir une capsule percée de petits trous très-rapprochés et on y projette de l'eau distillée qui passe à l'état sphéroïdal aussi facilement que si la capsule n'était pas percée; mais si on la soustrait à l'action de la chaleur, le changement d'état se

fait comme on l'a vu précédemment; la capsule est mouillée et l'eau s'écoule au travers des trous.

Si l'on regarde avec attention le dessous de la capsule pendant qu'elle se refroidit et avant qu'elle ne soit mouillée, on voit de petits jets de vapeur s'échapper par les trous correspondants à l'ellipsoïde.

Cinquante-septième expérience. — On projette quelques grammes d'eau de chaux transparente dans une capsule rouge de feu. Cette eau perd immédiatement sa transparence et se recouvre d'une pellicule dont l'épaisseur va toujours croissant, puis il s'y forme des éminences, des cavités, des sillons, etc., qui lui donnent un aspect particulier. Lorsque l'eau est réduite aux deux cinquièmes environ, on la voit quelquefois détonner et disparaître sans laisser de traces sur la capsule; d'autrefois l'évaporation continue, et il reste sur la capsule un petit tas de chaux mêlée de carbonate.

J'ai vu, dans quelques circonstances, se former un petit espace vide au zénith du sphéroïde. Cet espace, se trouvant circonscrit entre la courbe de la croûte du sphéroïde et une autre courbe en sens inverse dans le liquide, avait toujours la forme d'une lentille convergente. J'ignore la cause de ce phénomène.

L'eau de baryte se comporte absolument comme l'eau de chaux.

Enfin, dans d'autres circonstances, la surface des sphéroïdes d'eau de chaux et de baryte se recouvre de mille facettes, et vibre avec harmonie. On observe également cet effet avec les autres sphéroïdes, mais plus rarement.

Ce phénomène intéressant est presque toujours précédé de vibrations plus lentes qui font prendre aux sphéroïdes des formes particulières qui se réduisent, en général, à des ellipsoïdes qui s'entre-croisent à angle droit. Toutes ces formes ont été décrites avec beaucoup d'exactitude par MM. Laurent et Peltier. Je n'ai donc point à m'en occuper ici.

Cinquante-huitième expérience. — On fait rougir une capsule et on y fait passer quelques grammes d'eau à l'état sphéroïdal, puis on prend un petit morceau de bois blanc taillé en forme de crayon, on le plonge dans l'ellipsoïde et on trace, sur la capsule, des caractères qui ressortent en noir par suite de la carbonisation du bois. Pendant toute la durée de cette expérience, on voit les gaz provenant de la décomposition du bois se dégager au travers de l'ellipsoïde, et non en dessous, comme la vapeur produite par celui-ci. Je reviendrai sur cette expérience dans la troisième partie de ce Mémoire.

Cinquante-neuvième expérience. — Une marmite en fonte, aux trois quarts pleine d'eau, est suspendue à une crémaillère sur un bon feu de cheminée ; quand elle est en pleine ébullition, on l'attire à soi et l'on applique immédiatement la main dessous ; on est tout étonné de la trouver froide ou presque froide ; une demi-minute après, elle est à la température de l'eau, et la main appliquée de nouveau n'y saurait être maintenue sans inconvénient pour l'expérimentateur.

Ce fait, qui est connu de tout le monde, constitue une nouvelle exception à la loi de l'équilibre de chaleur. Toutefois, celle-ci contraste singulièrement avec celles que j'ai déjà fait connaître. En effet, dans cette expérience, c'est le contenu qui est chaud et le contenant qui est froid, c'est-à-dire précisément le contraire de ce qu'on observe dans les corps à l'état sphéroïdal.

Soixantième expérience. — On dispose convenablement sur la platine d'une machine pneumatique une capsule en porcelaine contenant de 300 à 400 grammes d'acide sulfurique récemment *calciné;* on place sur celle-ci une capsule en argent, presque plane, dans laquelle on laisse tomber 10 centigrammes d'eau distillée, et le tout est recouvert par le récipient de la machine, puis on fait le vide avec toute

la célérité possible. Aussitôt que le mercure baisse dans la branche fermée, des signes d'ébullition se manifestent, des bulles se forment *au contact de la capsule*, grossissent et se dégagent, et bientôt toute l'eau a disparu.

Le temps de l'évaporation, depuis le premier coup de piston, a été de $7^m 15^s$.

Soixante et unième expérience. — On recommence l'expérience précédente de la manière suivante : on noircit la capsule en la promenant sur la flamme d'une chandelle, on la laisse refroidir et on y fait tomber la même quantité d'eau qui passe à *l'état sphéroïdal*, ainsi que l'a observé Rumford. On place la capsule sur l'acide sulfurique et on fait le vide comme précédemment. Cette fois aucun signe d'ébullition ne se manifeste, et le temps de l'évaporation est de $1^h 3^m 10^s$.

Quelle différence dans les temps d'évaporation de ces deux expériences !

Mais la description qu'on vient de lire serait très-incomplète, si je n'ajoutais pas que je dois ces deux opérations, d'une part, à M. Bussy qui a bien voulu mettre une bonne machine pneumatique à ma disposition, et, de l'autre, à la coopération active de M. Larocque, préparateur à l'École de pharmacie.

Soixante-deuxième expérience. — On dispose la capsule en argent comme dans l'expérience précédente, on y fait tomber la même quantité d'eau et on la porte sur la flamme d'une lampe à alcool à double courant. Voici ce qu'on observe : le sphéroïde est agité par de petites ondes concentriques dont le plan est perpendiculaire au rayon de la terre, il roule sur la surface de la capsule, des courants qui se croisent dans tous les sens s'établissent dans son intérieur, le noir de fumée brûle, la capsule recouvre son éclat métallique et l'eau disparaît entièrement, tout cela dans l'espace de $2^m 34^s$.

Résumé.

Si l'on résume la première partie de ce Mémoire, on voit :

1°. Que la limite dernière de température à laquelle l'eau peut passer à *l'état sphéroïdal* en quantité notable, est de + 142 degrés ;

2°. Que l'eau à l'état sphéroïdal s'évapore d'autant plus vite que la température du vase qui la contient est plus élevée, et que son évaporation est, sous cet état particulier, cinquante fois plus lente à + 200 degrés que par ébullition à l'état liquide ordinaire ;

3°. Que *la température des corps à l'état sphéroïdal, quelle que soit d'ailleurs celle du vase qui les contient, est invariable et toujours inférieure à celle de leur ébullition; qu'elle est proportionnelle à celle-ci et de* + 96°,5 *pour l'eau;*

4°. Que la température de la vapeur des corps à l'état sphéroïdal est égale à celle des vases qui la contiennent ; en d'autres termes, que l'équilibre de chaleur s'établit toujours entre la vapeur d'un corps à l'état sphéroïdal et l'espace qui la renferme, et que cet équilibre ne saurait s'établir entre cet espace et le corps à l'état sphéroïdal d'où naît la vapeur ;

5°. Que les corps à l'état sphéroïdal jouissent d'un pouvoir réflecteur absolu à l'égard du calorique (1) ;

6°. Que tous les corps peuvent passer à l'état sphéroïdal (?) ;

7°. Qu'il n'y a pas de contact entre les corps à l'état sphéroïdal et les surfaces qui les font naître ;

---

(1) Il reste à savoir si la chaleur solaire serait réfléchie comme celle de nos foyers. Les premiers beaux jours que le ciel de Paris nous donnera seront consacrés à une série d'expériences, qui aura pour but la solution de ce problème important.

8°. Enfin, que l'état sphéroïdal de l'eau est la cause principale des explosions dites *fulminantes* des chaudières à vapeur.

Quant aux conséquences que l'on peut rigoureusement déduire des expériences décrites dans cette première partie, elles sont nombreuses et importantes; mais pour rester fidèle au plan que je me suis tracé, il n'en sera point encore question, et les corollaires de ce travail ne seront formulés que dans la troisième partie de ce Mémoire.

MÉMOIRE SUR LA COMPOSITION CHIMIQUE DU VESOU ET DE LA CANNE A SUCRE CRÉOLE DE L'ILE DE CUBA;

PAR M. CASASECA,

Professeur de Chimie à la Havane.

(Extrait.)

J'ai opéré sur la canne créole (*canna de la tierra*), canne mince assez ligneuse et qui me paraît être par sa nature le terme moyen entre les cannes *d'Otaïti, blanche, cristalline* et *rubanée,* qui sont à peu près les seules espèces que les planteurs cultivent à l'île de Cuba. La canne créole est cultivée aux portes même de la Havane, et elle est pressée en ville dans des petits moulins à main de plus ou moins de force, pour en extraire du vesou frais que des marchands ambulants vendent tous les soirs dans les rues, et dont les naturels du pays font grande consommation comme boisson rafraîchissante, particulièrement les gens de couleur qui en sont fort avides.

Le vesou fut transporté dans mon laboratoire immédiatement après sa sortie du moulin : ce vesou est presque limpide; filtré, il a une couleur citrine très-pâle, il marque

11°,5 à l'aréomètre de Baumé, à la température de 33 degrés centigrades, et rougit très-faiblement le papier de tournesol. Évaporé dans le vide sec, il laissa un sirop épais, d'un jaune très-clair, qui refusa de cristalliser, restant toujours à l'état liquide, mais qui, délayé avec une petite quantité d'alcool à 38 degrés que j'évaporai aussi dans le vide, fournit presque aussitôt une masse blanche, très-légèrement jaunâtre, offrant çà et là quelques rudiments de cristaux et quelques reflets brillants. En définitive, tout était solide et sec; c'était du sucre presque pur, et il ne peut plus rester de doute aujourd'hui à aucun chimiste, que le sucre n'existe toujours et tout entier à l'état de sucre cristallisable dans la canne. Tout sucre incristallisable, obtenu de la canne à sucre, est positivement le résultat d'une altération du sucre primitif, ainsi que l'a établi M. Péligot.

Dans deux expériences consécutives de ce genre, 100 grammes de vesou ont laissé pour résidu sec, par leur évaporation dans le vide, 21^{gr},2, ce qui fait donc 212 parties de matières solides sur 1 000 de vesou, résultat qui s'accorde parfaitement avec celui de M. Péligot, puisque ce chimiste a trouvé 213.

Le vesou de la canne créole de l'île de Cuba contient donc :

Matières solides.	21,2
Eau	78,8
	100,0

Le vesou de la canne d'Otaïti, à la Martinique, contient, d'après M. Péligot,

Matières solides.	21,3
Eau............	78,7
	100,0

100 grammes de vesou frais provenant de la canne créole m'ont fourni, en incinérant dans une capsule de platine le résidu de leur évaporation, 0^{gr},14 de cendres, ce qui fait 1,4 sur 1 000 parties de vesou.

D'autre part, 200 grammes de vesou ont été traités par le sous-acétate de plomb et m'ont fourni un précipité qui, amené à un complet état de dessiccation, puis calciné, a perdu dans sa calcination $0^{gr},24$, ce qui fait donc 1,2 de matière organique sur 1 000 parties de vesou frais.

Si l'on additionne les matières étrangères contenues dans 1 000 parties de vesou, on trouvera :

Sels minéraux.......	1,4
Produits organiques..	1,2
	2,6

Déduisant cette somme des 212 parties de matières solides, il en résultera 209,4 pour le sucre. Coordonnant les résultats analytiques qui viennent d'être cités, nous pourrons représenter, ainsi qu'il suit, la composition du vesou de la canne à sucre créole de l'île de Cuba :

Sucre..............	209,4
Eau................	788,0
Sels minéraux.......	1,4
Autres prod. organ.	1,2
	1000,0

Celle du vesou de la canne d'Otaïti, analysé par M. Péligot, est, comme on le sait :

Sucre....	209,0
Eau...............	787,0 (*)
Sels minéraux......	1,7
Autres prod. organiq.	2,3
	1000,0

Il résulte de ce rapprochement, qu'il y a pour ainsi dire

(*) Soit par l'effet d'erreur de plume ou d'impression, ce tableau se trouve complétement bouleversé à la page 19 du Mémoire de M. Péligot : l'eau y figure pour 771,7 au lieu de 787, et les sels pour 17 au lieu de 1,7. Nous verrons plus loin, dans mon Mémoire, quelles ont été les conséquences de cette dernière et grave méprise, qui vient d'être reproduite dans la réimpression du Mémoire de M. Péligot, faisant suite au Rapport qu'il a adressé à M. le Ministre de la Marine, au sujet des expériences faites par M. Dupuy à la Guadeloupe.

identité dans la composition du vesou de la canne d'Otaïti et de la canne créole de l'île de Cuba. Ceci me porte à croire :

1°. Que quelle que soit l'espèce de canne que l'on travaille, la nature du vesou sera identique dans toutes, pourvu qu'elles aient été cueillies dans le même état de maturité, sur un terrain de même nature et sous les mêmes influences atmosphériques; car c'est une chose bien connue des planteurs que, par les temps de fortes pluies, surtout quand elles sont continues, la canne à sucre contient beaucoup plus d'eau que par un temps sec, et par cela même, la fabrication est beaucoup plus longue et plus pénible, et le produit en sucre beaucoup moindre.

2°. Que les divers terrains où l'on cultive la canne à sucre n'ont d'autre influence sur le vesou que de lui fournir plus ou moins d'eau selon leur nature, puisque la variation dans les sels ne porte que sur des dix-millièmes ; et que, par cela même, la différence dans la quantité d'eau est la seule cause de la diversité qu'on observe sur plusieurs habitations de l'île de Cuba, dans le produit en sucre fourni par d'égales masses de vesou, tout en travaillant avec les mêmes équipages.

3°. Que, d'après ma manière de voir, tous les vesous d'égale densité à l'aréomètre de Baumé à une même température doivent fournir, convenablement travaillés, des quantités pondérales de sucre absolument égales; car, étant démontré par les expériences de M. Péligot et par celles qui me sont propres, que le vesou n'est pour ainsi dire que de l'eau sucrée qui ne contient que quelques millièmes de matières étrangères, il est évident qu'un millième de plus ou de moins de celles-ci sera une quantité insignifiante qui n'aura aucune influence dans la fabrication du sucre; qu'en conséquence, les quantités de sucre obtenues dans le vide, avec de bons appareils tels que ceux de MM. Derosne et Cail, devront être proportionnelles à la

densité des différents vesous pris à une même température.

M. Péligot n'accorde aucune importance dans son Mémoire aux matières étrangères contenues dans le vesou, puisqu'il dit, page 19 :

Le jus de canne n'est donc autre chose que de l'eau sucrée, à peu près pure, composée d'une partie de sucre sur quatre parties d'eau environ.

Il ne reconnaît d'ailleurs pour principales causes de la formation de la mélasse, comme on peut le voir page 23, que la fermentation des jus et l'action mal dirigée de la chaleur, sans assigner toutefois aucune influence aux sels contenus dans le vesou pour rendre incristallisable une certaine quantité de son sucre. Néanmoins, comme dans son Rapport à M. le Ministre de la Marine, au sujet des expériences faites par M. Dupuy à la Guadeloupe, M. Péligot a changé de manière de voir, venant à attribuer un rôle important aux sels du vesou dans la formation de la mélasse, je crois devoir combattre ces idées, qui sont contraires à celles que j'ai émises plus haut. Tout le raisonnement de M. Péligot est basé sur une fausse hypothèse, et j'imagine, par cela même, que tout le monde conviendra avec moi, sans en excepter M. Péligot, en lui démontrant où est la méprise, que ce qui serait vrai pour une quantité de sels dix fois plus forte que celle qui est contenue dans le vesou analysé par M. Péligot, cesse de l'être pour la quantité réelle y existant et que lui-même a déterminée. En effet, M. Péligot a pris les millièmes de son analyse pour des centièmes; il y a même plus: à la page 18 de son Mémoire, après avoir prouvé que 1 000 parties de jus fournissent 1,7 de cendres, il met une note pour prévenir le lecteur que dans les *Comptes rendus de l'Académie,* il y a par erreur 1 pour 100 au lieu de 1 pour 1 000; et dans la page 19, qui est en regard, il retombe lui-même dans la même erreur qu'il vient de signaler, puisque dans le tableau de la composition du vesou, les sels minéraux

figurent pour 17 sur 1000. Tout cela se conçoit, et l'on sait combien il est facile de persister dans une erreur; mais ce qu'il n'est pas aussi facile de s'expliquer, c'est comment M. Péligot, dans son Rapport à M. le Ministre de la Marine, page 38, en parlant du vesou qui n'avait subi qu'une très-faible altération, envoyé de la Guadeloupe par M. Dupuy, dit que le poids des produits fixes de ce vesou, qui consistent en sel marin, sulfate de chaux, etc., *a varié entre* 15 *et* 20 *pour* 1 000 *de vesou, résultats qui s'accordent avec ceux de son Mémoire sur l'analyse du vesou de la Martinique.*

Il n'est pas plus aisé de concevoir comment, à la page 63 du même Rapport, M. Péligot dit: *On peut estimer, je pense, de* 10 *à* 15 *centièmes, la quantité de sucre que doivent empêcher de cristalliser les* 1 *à* 2 *pour* 100 *de sels dissous dans le vesou.*

Le fait est que, partant de cette hypothèse, M. Péligot écrit sur l'influence des sels du vesou dans la formation de la mélasse, un long article qui contient assurément de fort bonnes choses, mais qui, portant à faux, puisqu'il repose sur une erreur de chiffres, perd toute son importance et cesse d'être vrai. Supposant avec M. Péligot que 1 à 2 pour 100 de sels dissous dans le vesou fussent capables de rendre incristallisables 10 à 15 centièmes du sucre contenu dans ce vesou, tout le monde m'accordera sans peine que, puisqu'il n'y en a en réalité que 1 à 2 pour 1 000, ce ne sera que 1 centième à 1 $\frac{1}{2}$ centième de sucre, que les sels contenus effectivement dans le vesou rendront incristallisable; et bien que l'on sache que dans un pays comme l'île de Cuba, où l'on perd, ainsi que je l'ai prouvé (*), 51,5 pour 100 du sucre contenu dans le vesou, par suite de la défécation de

(*) Rapport que j'ai adressé au Conseil de protection de l'Agriculture et du Commerce de l'île de Cuba, *sur la nécessité d'y améliorer la fabrication du sucre et sur les perfectionnements dont est susceptible cette fabrication.* Imprimé en espagnol à la Havane, par décision du conseil du 6 juillet 1843.

la cuite et du terrage, perte dans laquelle les écumes seules, que les planteurs abandonnent aux nègres pour nourrir leurs porcs, figurent pour une valeur de 8 à 10 centièmes de sucre. Certes, dans ce pays-là, on ne fera pas attention à 1 centième de plus ou de moins de sucre converti en mélasse, et l'on regardera comme insignifiante l'influence des sels du vesou dans la fabrication du sucre.

J'ajouterai à ce que je viens d'exposer, un fait qui tendrait à prouver la constance dans la composition du vesou, dans toute espèce de canne à sucre, et la nullité d'influence des sels du vesou dans la formation de la mélasse. Je tiens de M. Derosne lui-même, que dans la fabrication en grand faite au moyen de ses appareils, pendant deux campagnes consécutives, chez M. de Villa-Urrutia, planteur et fabricant très-éclairé de la Havane, on n'a pas observé de différence dans la production du sucre ni dans celle des mélasses, avec des vesous provenant de cannes fort différentes, mais marquant, à peu de chose près, le même degré à l'aréomètre de Baumé. Ce point me paraît suffisamment discuté, et je passe à l'examen de la canne à sucre créole de l'île de Cuba.

920 grammes de canne fraîche coupée en morceaux furent desséchés, à la température de 100 degrés centigrades, dans un appareil à courant d'air sec.

La dessiccation fut parfaite au bout de douze heures; car soumise deux heures de plus à la température de 100 degrés centigrades, la canne à sucre ne perdit plus rien de son poids; il était alors de 313gr,5; la perte avait donc été de 606gr,5 sur les 920 grammes primitifs, ce qui donne 65,9 de perte sur 100 de canne fraîche, ou soit 65,9 d'eau. A ces 65,9 correspondent, d'après mon analyse du vesou de la canne créole, 17,7 de sucre et autres matières solubles, ce qui fait 83,6 de vesou et 16,4 de ligneux.

La composition de la canne fraîche créole de l'île de Cuba peut donc être représentée ainsi qu'il suit :

Eau	65,9
Sucre et matières organiques et inorganiques	17,7
Ligneux	16,4
	100,0

Celle de la canne fraîche d'Otaïti, à la Martinique, se trouve exprimée, d'après M. Péligot, par les nombres suivants :

Eau......	72,1 (*)
Sucre....	18,0
Ligneux..	9,9
	100,0

Nous voyons que la canne créole de l'île de Cuba et celle d'Otaïti, quoique renfermant un vesou identique, diffèrent essentiellement par leur ligneux, puisque la première en contient 16,4 pour 100 de canne fraîche, tandis que la seconde n'en comporte que 10,4.

Il serait impossible de fixer dès à présent la limite des quantités de ligneux dans la canne à sucre considérée d'une manière générale; car, pour cela, il faudrait savoir quelle est celle des espèces que l'on exploite dans la fabrication du sucre qui en contient le plus, pour l'opposer à celle qui en

(*) Avant d'aller plus loin et d'énoncer les conséquences que je me propose de déduire de ce rapprochement, qu'il me soit permis de prévenir que les valeurs assignées par M. Péligot au sucre, à l'eau et au ligneux, dans cette analyse, sont erronées, quoique déduites de la composition de la canne desséchée, qui a été déterminée par l'expérience directe et que je suppose fort exacte. Les erreurs de calcul corrigées, on est conduit à reformer, ainsi qu'il suit, la composition de la canne à sucre fraîche d'Otaïti, à la Martinique :

Eau	70,5
Sucre....	19,1
Ligneux..	10,4
	100,0

Il est bien entendu que dans ce nombre je comprends les sels minéraux et les produits organiques, parce que, comme l'a fort bien dit avant moi M. Péligot, *leur poids est trop faible pour qu'il soit utile d'en tenir compte dans une analyse de ce genre.*

contient le moins. C'est un travail qui est encore à faire, et que je me propose d'entreprendre, à mon retour de la Havane, examinant une à une toutes les espèces, pour fixer leur limite individuelle et établir, après, la limite générale. Ce travail sera non-seulement curieux au point de vue scientifique, mais très-utile aussi sous le rapport économique; car l'intérêt du planteur étant de produire la meilleure canne à sucre, il s'adonnera à cultiver, de préférence à toutes les autres, celle que l'analyse chimique aura démontrée contenir moins de ligneux, et qui, par conséquent, devra lui fournir plus de vesou et plus de sucre. Dès à présent, l'on doit être porté à croire que la meilleure canne à sucre est celle d'*Otaïti*, et la plus mauvaise celle dite *cristalline*. Voilà, du moins, ce qui résulte d'expériences faites en grand dans quatre habitations de l'île de Cuba, au mois d'avril 1841, lorsque l'on était encore en plein travail, sur des cannes d'*Otaïti*, *cristalline* et *rubanée*, pressées dans des moulins mus par l'eau, par la vapeur, et par des bœufs, lesquels fournirent des vesous marquant 10°,5, 11 degrés, 11 degrés, 10 degrés à l'aréomètre de Baumé, les températures respectives étant 30, 34, 29, 25 degrés centigrades.

Quantités de vesou obtenues de 100 *kilogrammes de canne de chaque espèce cultivée à l'île de Cuba, par la pression dans les trois classes de moulins, les seuls employés, et dans diverses habitations* (ingenios) *de l'île.*

Ingenio Alesandria, appartenant à M. le comte d'O-Reilly :

Canne rubanée. — Moulin à eau.

Vesou..	45 livres.
Bagasse.	55
	100

Ingenio Economia, appartenant à don Pedro Diago :

Canne cristalline. — Moulin à vapeur.

Vesou..	35 livres.
Bagasse.	65
	100

Ingenio Coca, appartenant à don Ambrosio Romero :

Canne d'Otaïti. — Moulin à bœufs.

Vesou..	56 livres.
Bagasse.	44
	105

Ingenio Ilolanda, appartenant à don Lorenzo Montalvo :

Canne d'Otaïti. — Moulin à eau.

Vesou..	57 livres.
Bagasse.	43
	100

C'est donc à tort, selon moi, que M. Péligot, dans son Rapport à M. le Ministre de la Marine, page 24, s'exprime en ces termes :

« Je pense que l'on peut admettre aujourd'hui comme un » fait bien établi que la substance insoluble, le ligneux, » qui forme la charpente solide de la canne, y existe dans » la proportion moyenne de 9 à 11 pour 100. Je ne veux » parler ici que des cannes en âge d'exploitation. »

De ce que les expériences faites jusqu'à présent sur la canne à sucre par MM. Avequin, Péligot, Plagne et Dupuy, *portant toutes sur la canne d'Otaïti*, ont donné pour résultat ces limites dans le ligneux, était-on en droit de généraliser le fait et de comprendre dans ce mode de composition toute espèce de canne à sucre? Mon analyse de la canne créole de l'île de Cuba, et les expériences que je viens de citer sur la canne rubanée et cristalline, prouvent précisément le contraire.

RECHERCHES SUR L'URANE ET SUR QUELQUES SELS DOUBLES FORMÉS PAR CE MÉTAL ;

PAR M. J. WERTHEIM.

Les travaux récents sur l'urane et ses combinaisons ont beaucoup avancé l'histoire de ce métal. Il m'a semblé néanmoins que l'étude et l'analyse de quelques sels doubles d'urane pouvaient être utiles, en fournissant de nouvelles données sur le poids atomique de ce corps.

Les recherches de M. Péligot (1) sur l'urane prouvaient que le résidu noir obtenu en traitant le chlorure double d'urane et de potassium par l'hydrogène, contenait encore une certaine quantité d'oxygène qu'on pouvait en séparer en faisant passer un courant de chlore sur un mélange intime de ce résidu et de charbon. Cet habile chimiste, partant de ce point, crut devoir prendre le nombre 750 pour le nouveau poids atomique, nombre qui représente un multiple du poids atomique de l'hydrogène; cependant ses expériences ont donné des résultats qui varient entre les nombres 744 et 747,5.

M. Rammelsberg (2), qui a constaté les faits trouvés par M. Péligot, a proposé de considérer l'ancien poids atomique 2711,358 comme représentant le triple atome de protoxyde; on en déduirait le nombre 803,786 pour le poids atomique de l'urane. Les recherches de M. Ebelmen (3) sur l'oxalate de l'urane l'ont conduit au poids atomique 742,875.

Mes analyses de l'acétate double d'urane et de soude et de l'acétate d'urane ont donné le nombre 746,36 pour le

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. V, page 13.
(2) *Annales de Poggendorff*, tome LV, page 318, et tome LVI, page 128.
(3) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome V, page 189.

poids atomique de l'urane; c'est une moyenne entre les nombres 750 et 742,875. J'ai cru pouvoir l'adopter comme probable pour les calculs des analyses qui suivent.

Pour préparer l'acétate d'urane, j'ai traité la pechblende pulvérisée par l'acide azotique étendu. La solution séparée du dépôt de soufre et des silicates inattaqués contenait les azotates de fer, de cobalt, de manganèse, de plomb, de cuivre et l'acide arsénieux. Les sulfures de plomb, de cuivre et d'arsenic ont été précipités par un courant d'acide sulfhydrique. La liqueur filtrée a été évapor e à siccité. En traitant la masse sèche par l'eau, on dissout l'azotate d'urane, et les oxydes de fer, de cobalt et de manganèse, qui perdent leur acide, restent sur le filtre. On fit cristalliser à plusieurs reprises l'azotate d'urane ainsi obtenu. Les eaux-mères renferment les dernières traces d'azotate de cuivre.

Les cristaux d'azotate d'urane furent calcinés jusqu'à commencement de réduction. La masse ainsi obtenue est d'un rouge jaunâtre; traitée à chaud par l'acide acétique, elle abandonne de très-beaux cristaux d'acétate d'urane, qui sont beaucoup moins solubles que l'azotate; celui-ci resterait dans les eaux-mères s'il y en avait de non décomposé. On obtient facilement les acétates doubles d'urane, en ajoutant à la solution de l'acétate des carbonates solubles jusqu'à ce qu'il commence à se former un précipité d'uranate de la base dont on fait usage. On redissout le précipité ainsi formé dans une petite quantité d'acide acétique. La liqueur limpide donne, à mesure qu'elle se refroidit, des cristaux qui, pour la plupart de ces doubles sels, sont facilement déterminables. Un léger excès d'acétate, ou d'acide acétique, est plutôt favorable que nuisible à la cristallisation.

Outre cette méthode, on obtient encore très-facilement ces sels doubles en faisant bouillir la solution d'azotate d'urane avec les carbonates jusqu'à précipitation totale de l'oxyde uranique. En dissolvant le précipité par l'acide

acétique, on est sûr d'avoir les proportions atomiques pour la formation du sel double cherché, attendu qu'il se précipite d'abord un uranate défini.

Pour doser l'eau de ces doubles sels, on les chauffe dans un bain de sable à la température de 275 degrés cent. à laquelle l'acide acétique n'est pas encore chassé; puis on les calcine jusqu'à expulsion complète de l'acide acétique. L'analyse a été exécutée par la méthode ordinaire en précipitant par la baryte caustique. On se débarrasse de l'excès de baryte par un courant d'acide carbonique; on évapore la dissolution d'acétate de baryte, et on calcine le résidu, ce qui permet de déterminer l'acide acétique. Le précipité d'uranate et de carbonate de baryte recueilli sur le filtre est dissous dans l'acide chlorhydrique. On sépare la baryte par l'acide sulfurique, et on précipite l'oxyde d'urane par l'ammoniaque en excès. Le précipité d'uranate d'ammoniaque calciné fournit l'oxyde vert d'urane dont le poids permet de calculer celui du peroxyde. L'uranate d'ammoniaque, l'azotate ou l'acétate d'urane calcinés fournissent en effet par la calcination un corps vert; celui-ci avait toujours été considéré comme du protoxyde d'urane. Mais en dissolvant ce produit dans l'acide sulfurique, et ajoutant de l'alcool, on remarque une décomposition de la liqueur jaune-verdâtre; il se dépose des cristaux de sulfate vert de protoxyde, et il reste en dissolution du sulfate jaune de peroxyde. Le même effet se produit par la simple évaporation. Le même corps vert, mêlé intimement avec de l'acide oxalique sec, et calciné à l'abri du contact de l'air, fournit du protoxyde noir d'urane; retiré du creuset pendant qu'il est encore chaud, il absorbe l'oxygène avec avidité, et se transforme de nouveau en oxyde vert.

Il est bien prouvé, par ces propriétés, que le corps vert n'est pas un véritable oxyde, mais plutôt une combinaison de peroxyde et de protoxyde d'urane, d'une composition analogue à celle du fer magnétique.

Ce point établi, je vais rendre compte de l'analyse de l'acétate d'urane et de soude qui m'a servi de base pour la détermination du poids atomique de l'urane, que j'ai adopté ensuite pour calculer les analyses de tous les autres sels doubles.

Acétate double d'urane et de soude (fig. 1, Pl. I).

Ce sel, obtenu d'abord par M. Duflos, cristallise en tétraèdres; les angles sont tronqués et offrent les faces du dodécaèdre rhomboïdal. Il ne contient point d'eau de cristallisation. Son analyse a donné :

	I.	II.	III.	IV.
Soude...........	6,32	6,25	6,52	6,49
Peroxyde d'urane..	60,68	60,30	60,29	60,49
Acide acétique....	32,70	31,57	32,19	"

I. 1gr,217 d'acétate double ont donné 0,725 d'oxyde vert, 0,528 de carbonate de baryte et 0,1315 de carbonate de soude.

II. 0gr,936 d'acétate double ont donné 0,554 d'oxyde vert, 0,386 de carbonate de baryte et 0,0998 de carbonate de soude.

III. 0gr,904 d'acétate double ont donné 0,535 d'oxyde vert, 0,373 de carbonate de baryte et 0,101 de carbonate de soude.

IV. 1gr,139 d'acétate double ont donné 0,677 d'oxyde vert et 0,126 de carbonate de soude.

Les recherches de M. Péligot ont démontré que le peroxyde d'urane renfermait plus d'oxygène qu'on ne l'avait supposé.

En effet, les analyses de l'acétate double d'urane et de soude, calculées d'après l'ancien poids atomique, donnent pour les proportions d'oxygène contenues dans l'acide et les bases, des rapports incompatibles avec les lois des combinaisons chimiques. En transformant les poids de l'oxyde vert en oxyde jaune, en partant de l'ancien poids atomique 2711,358 et en multipliant respectivement par 100,58, on obtient :

Oxyde vert.	0,725	Oxyde jaune.	0,728
	0,554		0,557
	0,535		0,538
	0,677		0,680

et les proportions d'oxygène entre la soude, le peroxyde d'urane et l'acide acétique seront :

I.	1,61	3,13	15,38
II.	1,59	3,11	14,85
III.	1,65	3,11	15,15
IV.	1,64	3,12	"

c'est-à-dire = 1 : 2 : 9.

Ces résultats démontraient la nécessité d'une nouvelle détermination du poids atomique de l'urane.

Les analyses de l'acétate double d'urane et de soude avaient indiqué la composition de 1 atome de soude, de 3 atomes d'acide acétique, et d'une quantité incertaine d'atomes de peroxyde d'urane. Mais comme il était constaté, par les recherches de MM. Berzelius et Arfwedson, que le peroxyde d'urane est formé de 2 atomes d'urane et de 3 atomes d'oxygène, on pouvait bien, par le double sel même, déterminer le nombre correspondant au peroxyde d'urane.

Ce sel, qui ne renferme pas d'eau de cristallisation, donne, par la calcination, un résidu d'uranate de soude d'un jaune bien pur. Après avoir bien desséché le double sel réduit en poudre à une température de 200 degrés centig. à laquelle le sel résiste parfaitement, on le chauffe au rouge,

I.	1gr,66925 de sel double ont donné	1,14725	67,51508 p. 100 de résidu.
II.	1gr,7825	1,204	67,54558
III.	0gr,538	0,3632	67,50927

La moyenne de ces trois derniers nombres est 67,52331 p. 100 d'uranate de soude; il y a donc 32,47669 p. 100 d'acide acétique dans le sel double.

Par l'équation

32,47669 : 1912,5 [3 atomes d'acide acétique (*)]
= 67,52331 : 3976,34,

on trouve le nombre 3967,34 qui, en déduisant 1 atome

(*) Pour le calcul de l'acide acétique, on a pris le poids atomique du carbone 75 et de l'hydrogène 6,25.

de soude — 390,90 = 3585,44, fournit la valeur atomique des oxydes d'urane dans le sel double. Les analyses de l'acétate d'urane, dont je parlerai plus tard, démontrent qu'il est composé de 1 atome d'acide acétique et de 1 atome d'oxyde d'urane, dont le poids atomique correspond à la moitié de ce nombre, et par conséquent le nombre 3585,44 représente 2 atomes.

1 atome d'oxyde uranique est donc = 300 + 1492,72 (= 2 × 746,36) = 1792,72, et le poids atomique de l'urane est = 746,36.

L'oxyde d'urane contient, d'après le calcul, 16,73 p. 100 d'oxygène, ce qui donne, pour les analyses de l'acétate double d'urane et de soude, les rapports suivants entre les proportions d'oxygène :

	Soude.	Peroxyde d'urane.	Acide acétique.
I.	1,61	10,15	15,38
II.	1,59	10,08	14,85
III.	1,65	10,08	15,15
IV.	1,64	10,13	"

ou :: 1 : 6 : 9.

Ces nombres s'accordent suffisamment avec ceux qu'on déduit de la formule suivante :

$$\dot{Na}\ \bar{A} + 2\ \overset{\cdots}{\underline{U}}\ \bar{A},$$

qui donne :

Soude............	390,90	6,63
Peroxyde d'urane..	3585,44	60,88
Acide acétique....	1912,50	32,49
	5888,84	100,00

Les oxydes d'urane sont formés, d'après mes expériences, de

1 atome d'urane en combinaison avec 1 atome d'oxygène $= \dot{U} = 846,36$;

2 atomes d'urane en combinaison avec 3 atomes d'oxygène $= \overset{\cdots}{\underline{U}} = 1792,72$;

3 atomes d'urane en combinaison avec 4 atomes d'oxygène $= \dot{U}\ \overset{\cdots}{\underline{U}} = 2639,08$.

Les deux premiers sont connus sous les noms de *protoxyde* et de *peroxyde d'urane*. Quant au troisième, pour me conformer à la nomenclature de M. Péligot, je le nommerai comme lui, *tritoxyde d'urane*.

La proportion d'oxygène dans 100 parties du protoxyde serait de 11,81 p. 100; dans 100 parties du peroxyde, 16,73 p. 100; dans 100 parties du tritoxyde, 15,15 p. 100. 100 parties de tritoxyde ou d'oxyde vert doivent donner 101,89 parties de peroxyde ou d'oxyde jaune.

La comparaison entre le protoxyde et le peroxyde d'urane démontre que 100 parties de protoxyde d'urane doivent gagner 5,907 p. 100 pour devenir peroxyde; j'ai essayé de le prouver par une expérience qui, à la vérité, ne pouvait fournir qu'indirectement la solution. 5,0393 de protoxyde d'urane préparé, en réduisant le tritoxyde par l'hydrogène, furent oxydés par l'acide nitrique, dont l'excès fut neutralisé par l'ammoniaque. Je précipitai le peroxyde par la baryte caustique, et chassai l'ammoniaque par une digestion longtemps continuée; par là je réussis à transformer complétement la pellicule de carbonate de baryte qui s'était formée en uranate. La liqueur, séparée du précipité, donnait, par l'évaporation, du nitrate de baryte pur et incolore. Le précipité, parfaitement lavé, pesait, après sa calcination, $6^{gr},7338$. En le dissolvant dans l'acide chlorhydrique étendu, il laissa un résidu de 0,0439 de tritoxyde d'urane; ce résidu provenait d'une petite quantité d'uranate d'ammoniaque qui était mêlé au précipité d'uranate de baryte. Le précipité calciné renfermait donc $6^{gr},6898$ d'uranate de baryte. Celui-ci, dissous dans l'acide chlorhydrique et traité par un léger excès d'acide sulfurique, a fourni $2^{gr},0485$ de sulfate de baryte, ce qui correspond à 1,4049 de baryte. Par conséquent, le précipité contenait 5,2849 de peroxyde d'urane. Le résidu de 0,0439 de tritoxyde représente + 0,0447 de peroxyde; en somme, la quantité de protoxyde prise pour l'expérience fournissait 5,3296 de peroxyde.

En faisant la proportion

$$5,0393 : 5,3296 = 100 : 105,760,$$

on trouve une augmentation de poids de 5,760 p. 100 quand le protoxyde se change en peroxyde.

La liqueur filtrée dont on avait séparé le sulfate de baryte a été précipitée par l'ammoniaque. Il a donné, après sa calcination, 5,177 de tritoxyde d'urane, qui, avec les 0,0439 de résidu déjà mentionné, donnent 5,2209 de tritoxyde. Le calcul porte ce nombre à 5,3197 de peroxyde, et démontre, par l'équation suivante,

$$5,0393 : 5,3197 = 100 : 105,564,$$

une augmentation de poids de 5,564 p. 100.

De même, le protoxyde d'urane doit gagner 3,938 p. 100 pour se changer en tritoxyde. Le tritoxyde obtenu dans cette expérience donnerait l'équation suivante :

$$5,0393 : 5,2209 = 100 : 103,603,$$

et le tritoxyde, calculé d'après les 5,3296 de peroxyde, serait 5,2307 grammes, ce qui fournit l'équation suivante :

$$5,0393 : 5,2307 = 100 : 103,800.$$

Les augmentations de poids du protoxyde étaient, par le calcul, de 5,907 p. 100 pour devenir le peroxyde, et de 3,938 pour devenir le tritoxyde. L'expérience a donné 5,760 et 5,564 pour le premier cas, et 3,800 et 3,603 pour le second.

Comme cette expérience ne pouvait, par elle-même, me donner qu'un résultat approché, j'ai cru inutile de la répéter ; cependant j'ai cru devoir la mentionner, parce que le résultat n'était pas trop éloigné de celui d'autres chimistes qui s'étaient proposé de déterminer les pertes d'oxygène par des procédés de réduction.

(a) *Acétate d'urane.*

Pour obtenir de beaux cristaux de ce sel, il faut employer une solution très-acide. Ce sel se présente sous la

forme de prismes rhomboïdaux obliques, jaunes et transparents. Les cristaux sont d'une forme peu distincte, si la solution n'est pas suffisamment acide; ils perdent bientôt leur transparence. L'eau bouillante les décompose en donnant un dépôt d'hydrate de peroxyde; mais la solution qui s'est formée fournit de nouveau le même acétate. Les analyses furent exécutées par la baryte caustique; l'acide acétique, calculé d'après la transformation de l'acétate de baryte en carbonate de baryte, formé par la calcination, ou, d'après le sulfate de baryte, formé par précipitation. L'eau de cristallisation a été dosée par la dessiccation à 275 degrés cent. au bain de sable; la couleur jaune du sel passe alors au rougeâtre. En outre, la calcination a fourni l'acide acétique et l'eau, mais en quantité un peu trop forte en raison de la quantité d'oxygène qui s'échappe du peroxyde d'urane lorsqu'il se change en tritoxyde.

L'analyse de ce sel m'a donné :

	I.	II.	III.	IV.
Peroxyde d'urane.	67,35	67,45	66,93	67,25
Acide acétique...	24,40	"	23,93	23,53
Eau	8,32	"	"	"

I. $1^{gr},354$ d'acétate d'urane ont donné 0,1127 d'eau à une température de 275 degrés, 0,895 de tritoxyde et 0,3304 d'acide acétique par la perte.

II. $1^{gr},318$ d'acétate d'urane ont donné 0,873 de tritoxyde.

III. $2^{gr},495$ d'acétate d'urane ont donné 1,639 de tritoxyde et 1,379 de sulfate de baryte.

IV. $1^{gr},427$ d'acétate d'urane ont donné 0,942 de tritoxyde et 0,657 de carbonate de baryte.

L'oxygène renfermé dans ces quantités est :

	I.	II.	III.	IV.	
Peroxyde......	11,26	11,28	11,19	11,25	
Acide acétique.	11,45	"	11,25	11,07	= 3 : 3 : 2.
Eau	7,38	"	"	"	

On déduit facilement la formule suivante :

$$\dddot{U}\,\overline{A} + 2\dot{H},$$

qui donne :

Peroxyde d'urane.	1792,72	67,52
Acide acétique...	637,50	24,01
2Eau...........	225,00	8,47
	2655,22	100,00

(b) *Acétate d'urane.*

Lorsqu'on opère sur une solution d'acétate d'urane un peu étendue à une température inférieure à 10 degrés cent., on obtient un autre acétate d'urane jaune, qui se présente sous la forme d'un octaèdre à base carrée, dont le sommet est tronqué et remplacé par une face bien prononcée. Ce sel renferme 1 atome d'eau de plus, qu'il perd à 100 degrés. Les 2 autres atomes d'eau sont retenus jusqu'à 275 degrés cent.; la couleur du sel privé de son eau est rougeâtre.

L'analyse de ce sel m'a donné :

	I.	II.	III.	IV.	V.
Peroxyde d'urane.	"	64,61	64,24	64,67	64,78
Acide acétique....	"	23,59	"	23,51	"
Eau.............	13,02	11,79	"	"	"

I. $1^{gr},745$ d'acétate d'urane un peu humide ont donné 0,0875 d'eau au bain-marie = 5,01 pour 100, et 0,229 d'eau au bain de sable = 8,01 pour 100.

II. $1^{gr},958$ d'acétate d'urane ont donné 0,231 d'eau au bain de sable à 275 degrés cent., 1,242 de tritoxyde d'urane par la calcination, donc 0,462 d'acide acétique par la perte.

III. $1^{gr},044$ d'acétate d'urane précipité par l'ammoniaque ont donné 0,6585 de tritoxyde.

IV. $0^{gr},404$ d'acétate d'urane ont donné 0,2565 de tritoxyde et 0,218 de sulfate de baryte.

V. $1^{gr},356$ d'acétate d'urane ont donné 0,8623 de tritoxyde.

La proportion d'oxygène est :

I.	II.	III.	IV.	V.	
"	10,80	10,74	10,81	10,83	
"	11,09	"	11,06	"	= 3 : 3 : 3.
11,15	10,47	"	"	"	

La formule

$$\dddot{U}\,\overline{A} + 3\dot{H}$$

représente la composition de ce sel ; cette formule donne :

Peroxyde d'urane..	1792,72	64,77
Acide acétique.....	637,50	23,03
3Eau.............	337,50	12,20
	2767,72	100,00

Uranate de potasse.

Ce composé a été préparé, tant par le peroxyde d'urane précipité par la potasse caustique que par la calcination de l'acétate double d'urane et de potasse. On ne peut pas en extraire la potasse par l'eau bouillante. Un mélange de ce composé avec l'acide oxalique est décomposé par la calcination, qui, à l'abri de l'air, donne du protoxyde d'urane et du carbonate de potasse.

L'analyse du composé de la première préparation m'a donné :

	I.	II.		III.	IV.
Potasse..........	13,97	"	de la seconde préparation	14,09	13,91
Peroxyde d'urane.	85,86	85,73		88,68	55,65

I. 2gr,0205 d'uranate de potasse de la première préparation ont donné 1,701 de tritoxyde et 0,4465 de chlorure de potassium.

II. 0gr,9265 d'uranate de potasse ont donné 0,7795 de tritoxyde.

III. 1gr,1885 d'uranate de potasse de la seconde préparation ont donné 0,9996 de tritoxyde et 0,2648 de chlorure de potassium.

IV. 1gr,115 d'uranate de potasse ont donné 0,938 de tritoxyde et 0,8015 de chlorure double de platine et de potassium.

La proportion d'oxygène est :

	I.	II.	III.	IV.	
Potasse......	2,37	"	2,38	2,35	1 : 6.
Peroxyde....	14,36	14,35	14,33	14,32	

On déduit de ces nombres la formule suivante : $\dot{K}\,\dddot{U}^{2}$, qui donne :

Potasse...........	589,92	14,12
2 Peroxyde d'urane.	3585,44	85,88
	4175,36	100,00

Uranate de baryte.

Ce composé a été préparé, comme le précédent, soit en

calcinant l'acétate double, soit en le précipitant par la baryte caustique; mais on a eu le soin de ne pas précipiter tout le peroxyde contenu dans la solution, pour éviter la formation du carbonate de baryte. La couleur du sel est rougeâtre.

L'analyse m'a donné:

	I.	II.
Baryte..........	21,87	20,99
Peroxyde d'urane.	77,64	78,14

I. 1^{gr},0425 d'uranate de baryte obtenu par la précipitation ont donné 0,7945 de tritoxyde d'urane et 0,3475 de sulfate de baryte.

I. 0^{gr},8615 d'uranate de baryte obtenu par la calcination de l'acétate double ont donné 0,2757 de sulfate de baryte et 0,6608 de tritoxyde d'urane.

Les proportions de l'oxygène

$$\begin{matrix} 2{,}28 & 2{,}19 \\ 12{,}98 & 13{,}07 \end{matrix} \Big\} = 1 : 6$$

conduisent à la formule $\dot{B}a\,\dddot{U}^2$, qui donne :

Baryte............	956,88	21,06
2 Peroxyde d'urane.	3585,44	78,94
	4542,32	100,00

Ces résultats démontrent que, dans les uranates, l'oxygène du peroxyde d'urane est à l'oxygène de la base comme 6 est à 1. Dans les acétates doubles, l'oxygène de l'acide acétique est égal à l'oxygène des bases. Les sels doubles mêmes sont donc formés de 1 ou de 2 atomes d'acétate d'urane et de 1 at. d'acétate de l'autre base. La combinaison d'un oxyde qui renferme 3 atomes d'oxygène avec 1 atome d'un acide à 3 atomes d'oxygène semblerait devoir être considérée comme un sous-sel, comme la combinaison de 1 atome de peroxyde de fer avec 1 atome d'acide sulfurique. Néanmoins, je crois qu'on pourra regarder comme neutre l'acétate constitué dans les proportions ci-dessus, attendu qu'il est le seul qu'on puisse former. La réaction acide du sel sur le papier tournesol ne doit pas infirmer cette assertion, parce que le peroxyde d'urane est une base bien faible; sou-

vent il joue même le rôle d'un acide assez stable : l'uranate d'argent résiste en effet parfaitement à la chaleur rouge.

Acétate double d'urane et d'argent (fig. 2, Pl. I).

Ce sel est d'une couleur verdâtre ; il cristallise sous la forme de beaux prismes rectangulaires avec les faces de l'octaèdre à base carrée : ils perdent bientôt leur transparence. Les angles sont :

P : P″ au delà de l'axe = 49° 22′.
P : M = 155° 19′.

Ce sel est décomposé par l'eau bouillante, et dépose de l'uranate d'argent rouge; le même phénomène se produit pendant la préparation du sel, si la liqueur n'est pas suffisamment acidulée. Le sel se dissout facilement et sans décomposition dans l'eau froide. Par la calcination du sel, on obtient l'uranate d'argent d'un brun clair; celui-ci, traité par l'acide chlorhydrique, est décomposé en chlorure d'argent et en perchlorure jaune d'urane. L'uranate d'argent, provenant de la calcination, est ordinairement mêlé d'une trace de résidu charbonneux, qui peut être facilement séparé en dissolvant l'uranate d'argent dans l'acide acétique.

Le sel ne perd pas son eau de cristallisation à 100 degrés, comme les sels d'argent le font généralement. On peut le chauffer au bain de sable jusqu'à 275 degrés cent. ; les cristaux changent alors de couleur, et de verdâtres deviennent brunâtres.

L'analyse de ce sel double m'a donné :

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
Oxyde d'argent....	20,21	20,05	20,26	20,11	19,51	20,20
Peroxyde d'urane..	50,08	49,49	49,09	49,06	50,82	49,69
Acide acétique...	26,22	″	″	26,50	26,15	″
Eau............	3,20	″	″	″	″	″

Le résidu du sel était, dans les expériences II et VI, 70,12 et 70,19 p. 100 d'uranate d'argent.

I. 0gr,595 d'acétate double ont donné 0,019 d'eau à 275 degrés cent., 0,173 d'acide acétique par la perte en calcinant, 0,150 de chlorure d'argent et 0,294 de tritoxyde d'urane.

II. 0gr,675 d'acétate double ont donné 0,2018 d'eau et d'acide acétique par la calcination, 0,1715 de chlorure d'argent et 0,325 de tritoxyde.

III. 0gr,7565 d'acétate double ont donné 0,3645 de tritoxyde et 0,1896 de chlorure d'argent.

Deux analyses par la baryte caustique m'ont donné :

IV. 0gr,5335 d'acétate double ont donné 0,326 de sulfate de baryte, 0,1321 de chlorure d'argent et 0,257 de tritoxyde.

V. 1gr,0305 d'acétate double ont donné 0,5215 de carbonate de baryte, 0,223 de chlorure d'argent et 0,515 de tritoxyde.

VI. 1gr,153 d'acétate double ont donné 0,290 de chlorure d'argent et 0,563 de tritoxyde.

Les proportions d'oxygène sont :

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
1,38	1,38	1,38	1,38	1,34	1,38
8,37	8,27	8,21	8,20	8,49	8,31
12,33	"	"	12,45	12,30	"
2,84	"	"	"	"	"

en somme = 1 : 6 : 9 : 2.

On en déduit la formule suivante :

$$\dot{\mathrm{A}}\mathrm{g}\bar{\mathrm{A}} + 2\,\dddot{\mathrm{U}}\,\bar{\mathrm{A}} + 2\dot{\mathrm{H}},$$

qui donne :

Oxyde d'argent.....	1451,61	20,23
2 Peroxyde d'urane.	3585,44	49,98
3 Acide acétique...	1912,50	26,66
2 Eau............	225,00	3,13
	7174,55	100,00

Acétate double d'urane et de potasse.

Ce sel a beaucoup d'analogie avec le précédent, avec lequel il est d'ailleurs isomorphe. La forme est aussi un prisme rectangulaire avec les faces de l'octaèdre à base carrée. Les angles sont :

P : P″ au delà de l'axe = 57°39′.
P : M = 151°10′,5.

L'eau froide dissout ce sel facilement ; par l'ébullition on obtient un dépôt d'uranate de potasse. Ce produit se forme aussi lorsque l'acide acétique est employé en quantité insuf-

fisante dans la préparation de l'acétate double. Les cristaux perdent leur transparence avec le temps. La couleur est d'un beau jaune. Ce sel, privé de son eau à 275 degrés cent., est rougeâtre; le résidu de la calcination, l'uranate de potasse, est d'un rouge orange.

L'analyse de ce sel double m'a donné :

	I.	III.	IV.
Potasse.........	9,17	9,27	"
Peroxyde d'urane.	56,08	56,45	"
Acide acétique...	29,04	30,77	30,17
Eau............	"	"	3,74

Le résidu de la calcination était, dans les expériences II et IV, 66,05 et 66,08 p. 100 d'uranate de potasse.

I. 0gr,736 d'acétate double ont donné 0,411 de tritoxyde, 0,263 de carbonate de baryte, 0,008 de sulfate de baryte et 0,099 de carbonate de potasse.

II. 1gr,225 d'acétate double perdaient par la calcination 0,416 d'eau et d'acide acétique = 33,95 pour 100.

III. 0gr,978 d'acétate double ont donné 0,542 de tritoxyde, 0,395 de carbonate de baryte et 0,133 de carbonate de potasse.

IV. 0gr,855 d'acétate double ont donné 0,032 d'eau à la température de 275 degrés cent. et 0,258 d'acide acétique par la calcination = 33,92 pour 100.

Les proportions d'oxygène sont :

1,55	1,75	"	
9,38	9,44	"	= 1 : 6 : 9 : 2.
13,87	14,47	14,49	
"	"	3,32	

Les nombres que l'on déduit de la formule suivante

$$\dot{K}\bar{A} + 2\,\ddot{\ddot{U}}\bar{A} + 2\dot{H}$$

s'accordent suffisamment avec ceux que les analyses m'ont donnés. On a, en effet,

Potasse...........	589,92	9,34
2 Peroxyde d'urane.	3585,44	56,80
3 Acide acétique...	1912,50	30,30
2 Eau............	225,00	3,56
	6312,86	100,00

Acétate double d'urane et d'ammoniaque.

La solution de ce sel évaporée en consistance de sirop fournit des aiguilles jaunes minces et soyeuses, qui sont très-solubles. Le sel n'est pas décomposé par l'ébullition. Pendant la préparation, on doit avoir soin que l'acétate d'ammoniaque soit en excès; sinon, on est obligé d'ajouter de temps en temps de l'ammoniaque durant l'évaporation.

Les cristaux, pressés entre des feuilles de papier joseph, ont été desséchés au bain-marie, l'acide acétique a été déterminé par la baryte; le peroxyde d'urane a été précipité par l'ammoniaque, et l'ammoniaque a été dosée par différence.

L'analyse du sel m'a donné :

	I.	II.
Ammoniaque....	5,24	"
Peroxyde d'urane.	55,14	55,13
Acide acétique..	29,62	"
Eau	10,00	10,75

I. $0^{gr},6887$ d'acétate double ont donné 0,0694 d'eau, 0,3965 de carbonate de baryte et 0,3728 de tritoxyde.

II. 0,5205 d'acétate double ont donné 0,056 d'eau et 0,282 de tritoxyde.

Si l'on admet que l'oxygène de l'oxyde d'ammonium est le $\frac{1}{6}$ de celui du peroxyde d'urane $\left(\frac{9,22}{6} = 1,53\right)$ d'après l'analogie des autres acétates doubles d'urane, on trouve 5,03 pour 100 d'ammoniaque, ce qui diffère peu du résultat calculé par la perte.

On a pour les proportions d'oxygène les nombres

$$\begin{matrix} 1,58 & 1,53 \\ 9,22 & 9,22 \\ 13,93 & " \\ 8,88 & 9,54 \end{matrix} \Bigg\} = 1 : 6 : 9 : 6.$$

On en déduit la formule suivante :

$$NH^3\dot{H}\bar{A} + 2\dot{\ddot{U}}\bar{A} + 6\dot{H},$$

qui donne :

Ammoniaque......	327,04	5,03
2 Peroxyde d'urane..	3585,44	55,16
3 Acide acétique...	1912,50	29,43
6 Eau...........	675,00	10,38
	6499,98	100,00

Acétate double d'urane et de magnésie (*fig.* 3, *Pl. I*).

On obtient ce sel en grands cristaux en abandonnant la solution chaude au refroidissement, mais beaucoup mieux encore par l'évaporation spontanée. Ils se présentent sous la forme de prismes rectangulaires, dont le sommet est un octaèdre à base rhomboïdale, et ressemblent beaucoup à l'azotate d'urane. Les angles n'ont pu être mesurés, les faces n'étant pas suffisamment réfléchissantes.

La couleur du sel est jaune; le résidu de la calcination ou l'uranate de magnésie est jaune brunâtre. La flamme réductive du chalumeau fait passer cette couleur au vert, analogue à celle du tritoxyde d'urane; la couleur jaune reparaît à la flamme oxydante. La magnésie semble donc se comporter comme une base faible envers le peroxyde d'urane.

L'analyse de ce sel n'est pas sans difficultés, puisque la magnésie n'est qu'imparfaitement séparée du peroxyde d'urane par la baryte caustique. C'est pourquoi le précipité obtenu par la baryte a été traité par l'acide sulfurique. Après avoir précipité le peroxyde d'urane par l'ammoniaque, la magnésie renfermée dans le précipité a été déterminée à l'état de sulfate. La magnésie de la solution acétique a été dosée de même; l'eau du sel fut déterminée à 275 degrés centigrades.

L'analyse de ce double sel m'a donné :

	I.	II.	III.	IV.
Magnésie........	3,77	3,98	"	"
Peroxyde d'urane.	53,83	53,86	"	"
Acide acétique...	28,94	29,43	28,45	28,88
Eau............	"	"	13,89	13,75

Le résidu du sel calciné est, dans les expériences III et IV, 57,67 et 57,35 pour 100.

I. 1gr,1015 d'acétate double ont donné 0,020 de sulfate de magnésie, 0,1025 de sulfate de magnésie, 0,5355 de sulfate de baryte et 0,583 de tritoxyde d'urane.

II. 1gr,112 d'acétate double ont donné 0,1305 de sulfate de magnésie, 0,501 de sulfate de baryte et 0,588 de tritoxyde.

III. 1gr,325 d'acétate double ont donné 0,184 d'eau à 275 degrés cent. et 0,377 d'acide acétique par la calcination.

IV. 1gr,3155 d'acétate double ont donné 0,181 d'eau à 275 degrés cent. et 0,380 d'acide acétique par la calcination.

Les proportions d'oxygène sont :

1,45	1,53	"	"	= 1 : 6 : 9 : 8.
9,00	9,01	"	"	
13,60	13,84	13,38	13,58	
"	"	12,33	12,21	

Les nombres trouvés par l'analyse s'accordent suffisamment avec ceux qu'on déduit de la formule suivante :

$$\dot{M}g\bar{A} + 2\dot{\ddot{U}}\bar{A} + 8\dot{H},$$

car elle donne :

Magnésie.........	258,35	3,88
2 Peroxyde d'urane.	3585,44	53,86
3 Acide acétique...	1912,50	28,73
8 Eau.............	900,00	13,53
	6656,29	100,00

Acétate double d'urane et de zinc.

Ce sel, qui donne des cristaux assez bien formés, ne fournit pas par sa calcination de l'uranate de zinc pur, mais un mélange de ce corps avec le tritoxyde d'urane, attendu qu'une partie de l'oxyde du zinc est réduite par le charbon et volatilisée à l'état de métal. Il perd son eau à 250 degrés centigrades, température à laquelle sa couleur jaune claire devient jaune sale. De même que pour le sel précédent, l'analyse exécutée par la baryte caustique ne sépare pas l'oxyde de zinc du peroxyde d'urane, mais donne au

contraire un précipité d'uranate de zinc pur. L'acide acétique a été dosé d'après l'acétate de baryte.

L'analyse m'a donné :

	I.	II.
Oxyde de zinc.....	7,79	"
Peroxyde d'urane..	56,50	"
Acide acétique...	29,43	"
Eau	"	5,88

I. $0^{gr},8017$ d'acétate double ont donné 0,1248 de sulfate de zinc, 0,445 de tritoxyde et 0,540 de sulfate de baryte.

II. $0^{gr},688$ d'acétate perdaient 0,0404 d'eau à 250 degrés cent.

Les proportions d'oxygène 1,54 : 9,44 : 13,84 : 5,21 = 1 : 6 : 9 : 3 conduisent à la formule suivante :

$$\dot{Zn}\bar{A} + 2\ddot{\bar{U}}\bar{A} + 3\dot{\bar{H}},$$

qui donne :

Oxyde de zinc.....	503,23	7,94
2 Peroxyde d'urane.	3585,44	56,56
3 Acide acétique..	1912,50	30,18
3 Eau............	337,50	5,32
	6338,67	100,00

M. Fischer rapporte que des lames de zinc, placées dans une dissolution de perchlorure d'urane, se recouvrent bientôt d'un corps jaune, que la solution devient incolore et que par conséquent tout le peroxyde d'urane est précipité. J'ai répété cette expérience, avec de l'azotate d'urane; j'ai obtenu de même sur les lames de zinc une croûte jaune, qui, dissoute dans l'acide acétique, puis traitée par le carbonate d'ammoniaque, s'est comportée comme de l'uranate de zinc. La croûte, qui est fortement attachée aux lames de zinc, empêche une réaction ultérieure. Il m'a été impossible d'en préparer une quantité suffisante pour l'analyse. La solution conservait sa couleur jaune, quoique les lames eussent séjourné pendant huit jours dans la liqueur.

Acétate double d'urane et de plomb.

Une solution d'acétate d'urane et d'acétate de plomb en

parties égales ou avec un excès d'acétate d'urane un peu acidulée et très-réduite par l'évaporation a fourni des groupes d'aiguilles d'un jaune très-clair. Les cristaux perdent leur eau de cristallisation à 275 degrés cent.; par la calcination ils fournissent un uranate de plomb brun.

L'analyse de ce sel double m'a donné :

	I.	II.	III.
Oxyde de plomb...	27,14	27,14	"
Peroxyde d'urane..	34,93	34,92	"
Acide acétique. ..	24,81	"	25,06
Eau............	13,12	"	12,91

Le résidu de l'expérience III était 62,03 pour 100 d'uranate de plomb.

I. 0gr,498 d'acétate double ont donné 0,1838 de sulfate de plomb, 0,171 de tritoxyde, 0,2495 de carbonate de baryte et 0,0563 d'eau par la perte.

II. 0gr,242 d'acétate double ont donné 0,088 de sulfate de plomb et 0,083 de tritoxyde.

III. 0gr,1975 d'acétate double ont donné 0,0255 d'eau à 275 degrés centigrades et 0,0495 d'acide acétique par la calcination.

L'oxygène de ces nombres est :

1,94	1,94	"
5,84	5,84	"
11,67	"	11,79
11,65	"	11,46

Ces nombres s'accordent suffisamment avec ceux qu'on déduit de la formule suivante :

$$\dot{Pb}\bar{A} + \overset{\cdots}{U}\bar{A} + 6\dot{H},$$

qui donne :

Oxyde de plomb ..	1394,49	27,15
Peroxyde d'urane..	1792,72	34,89
Acide acétique....	1275,00	24,82
6 Eau...........	675,00	13,14
	5137,21	100,00

Ce sel diffère donc des autres acétates doubles, dont il a été question jusqu'ici, parce que 1 atome d'acétate de plomb n'est uni qu'à 1 atome d'acétate d'urane. Quoiqu'il soit possible qu'il existe un autre sel, dans lequel l'acétate de

plomb soit en combinaison avec 2 atomes d'acétate d'urane, je n'ai cependant pas pu réussir à le faire ni par un excès d'acétate d'urane, ni par une cristallisation à une température élevée, ni en le chauffant avec cet azotate d'urane décomposé, qui m'avait servi pour préparer l'acétate d'urane.

Uranate de plomb.

Comme la composition de l'acétate double d'urane et de plomb me montrait une proportion d'oxygène de 1:3 entre l'oxyde de plomb et le peroxyde d'urane, j'ai voulu vérifier si l'uranate de plomb précipité d'une solution d'acétate d'urane par l'oxyde de plomb offrirait pour l'oxygène le rapport de 1 à 6 comme les autres combinaisons du même genre.

Pour obtenir ce précipité je fis bouillir une solution d'acétate d'urane avec du carbonate de plomb récemment précipité jusqu'à la séparation d'un précipité rouge-jaunâtre. Ce produit fut ensuite bouilli avec une petite quantité d'acétate d'urane pour le purifier du carbonate de plomb. La liqueur filtrée était encore d'un jaune assez prononcé.

Pour former ce produit, il est nécessaire de bien faire bouillir. On ne réussit pas en employant du carbonate de plomb desséché et cohérent.

La couleur de l'uranate de plomb calciné est d'un brun rougeâtre; après quelque temps elle redevient rouge-jaunâtre. On pourrait bien se servir de ce corps pour la peinture des porcelaines; car la couleur jaune de paille qu'il donne résiste à la température des fourneaux, sans qu'il n'y ait de traces ni de noir ni de vert, tandis que l'uranate de potasse, comme on sait, fournit une couleur noire.

L'analyse de ce sel m'a donné :

Oxyde de plomb...	28,79
Peroxyde d'urane...	71,02

1^{gr},547 d'uranate de plomb, qui dissout par l'acide nitrique, donnaient quelques légères traces d'acide carbonique; 0^{gr},606 de sulfate de plomb ont fourni 1,0785 de tritoxyde d'urane.

Les proportions d'oxygène sont 2,07 : 11,88 = 1 : 6.

Quoique le résultat de l'analyse ne soit pas tout à fait exact, j'ai cru cependant pouvoir me dispenser de la répéter; car ces nombres s'accordent assez bien avec la formule suivante :

$$\dot{Pb}\,\dddot{U}^2,$$

qui donne :

Oxyde de plomb......	1394,49	28,01
2 Peroxyde d'urane....	3585,44	71,99
	4979,93	100,00

L'uranate de plomb calciné est difficilement dissous par l'acide acétique; séché au bain-marie, il se dissout très-bien. Par la cristallisation de cette solution j'ai obtenu l'acétate double d'urane et de plomb et en outre l'acétate d'urane, ce qui prouve en outre que la composition de ce double sel diffère des autres sels que j'ai examinés.

Acétate double d'urane et de baryte.

La forme cristalline de ce sel double n'est pas bien nette; on l'obtient toujours à l'état de paillettes jaunes et soyeuses qui sont très-solubles. A 275 degrés centigrades il perd son eau et devient jaune-rougeâtre. Le résidu de la calcination offre le même aspect brunâtre que l'uranate de baryte dont il a déjà été question.

L'analyse de ce sel double m'a donné :

	I.	II.	III.	IV.
Baryte..........	13,35	13,61	"	"
Peroxyde d'urane.	50,02	50,11	50,28	"
Acide acétique...	"	"	26,78	26,82
Eau	"	"	"	9,41

I. 1gr,670 d'acétate double (par l'acide sulfurique) ont donné 0,34 de sulfate de baryte et 0,82 de tritoxyde.

II. 0gr,4803 d'acétate double ont donné 0,176 d'eau et d'acide acétique, 0,0998 de sulfate de baryte et 0,2363 de tritoxyde.

III. 1gr,1315 d'acétate double (par la baryte caustique) ont donné 0,586 de carbonate de baryte et 0,559 de tritoxyde.

IV. 0gr,2815 d'acétate double ont donné 0,0265 d'eau à 275 degrés cent., 0,755 d'acide acétique par la calcination et 0,1795 de résidu ou d'uranate de baryte.

L'expérience IV donne 63,76 pour 100 d'uranate de baryte.

L'oxygène de ces nombres est :

1,39	1,42	"	"	
8,36	8,38	8,42	"	= 1 : 9 : 6 : 6
"	"	12,59	12,61	
"	"	"	8,35	

Les nombres qu'on déduit de cette équation s'accordent suffisamment avec ceux que l'analyse m'a donnés, car la formule suivante

$$\dot{B}a\bar{A} + 2\dddot{U}\bar{A} + 6\dot{H}$$

donne :

Baryte	956,88	13,41
2 Peroxyde d'urane.	3585,44	50,30
3 Acide acétique...	1912,50	26,83
6 Eau.	675,00	9,46
	7129,82	100,00

Les acétates doubles d'urane, de chaux et de strontiane n'ont pas été analysés. L'acétate d'urane ne fournit point de sels doubles avec l'acétate de cuivre, de mercure et de fer.

J'ajouterai, en terminant, que ce travail a été fait dans le laboratoire de M. Mitscherlich, et je saisis avec bonheur cette occasion de le remercier de l'intérêt qu'il m'a toujours témoigné, et de l'appui qu'il m'a donné par ses bienveillants conseils.

RECHERCHES SUR LA MANNITE ET L'ACIDE LACTIQUE;

Par M. P.-A. FAVRE.

La présence de la mannite dans plusieurs excrétions, et dans le suc de certaines parties des végétaux, sa production dans la fermentation visqueuse du sucre, concurremment avec celle de l'acide lactique, font de son étude une question importante. Il était intéressant d'étudier les diverses phases de décomposition entraînant le sucre dans une autre série de

produits que ceux que donne la fermentation alcoolique ; de voir jusqu'où cette dissemblance existait ; d'un autre côté, à cette étude se liait celle de l'acide lactique, se produisant avec elle, n'en différant à l'état d'hydrate que par 1 équivalent d'hydrogène en moins, qu'on pourrait essayer d'enlever à la mannite pour le transformer en acide lactique, le seul acide organique jouant un rôle dans la physiologie de l'homme, provenant de l'action de certaines matières azotées sur les matières neutres végétales.

Des recherches que j'ai entreprises sur ces deux corps, ce que j'en donne aujourd'hui est peu de chose, relativement à ce qu'il reste à faire. J'espère pouvoir prochainement les compléter dans les limites que je me suis imposées, me réservant alors d'en formuler l'ensemble.

J'ai fait une analyse de la mannite ; elle n'a pas différé de celles faites antérieurement, et si je la donne, c'est qu'elle devait entrer dans le cadre de ce travail, en me rassurant sur la pureté du produit que j'employai. L'analyse m'a donné les nombres suivants :

(1) Carbone . . .	39,24
Hydrogène .	7,80

la théorie donnant :

Carbone . .	39,56
Hydrogène .	7,69

J'ai déterminé l'équivalent de la mannite en la combinant à l'oxyde de plomb et opérant de la manière suivante : dans une dissolution chaude d'acétate de plomb ammoniacal, il suffit de verser une dissolution concentrée de mannite, ayant soin de laisser un excès du sel de plomb. Il ne se forme d'abord aucun précipité ; ce n'est que par le refroidissement qu'il se dépose sous forme de minces lamelles amiantacées, que l'on jette sur un filtre et que l'on comprime fortement et à plusieurs reprises entre des feuilles de papier joseph.

---

(1) Matière = 0,615 { Eau . . . . 0,434 ; Acide carbonique. 0,886 }

Toutes ces opérations doivent se faire en évitant l'action de l'acide carbonique de l'air. Le filtre est placé dans le vide en présence de la chaux, pour pouvoir facilement en détacher le précipité, que l'on soumet alors pendant deux jours à l'action dessiccante de l'acide sulfurique dans le vide. Ce précipité, qui est parfaitement blanc, est soumis à une température de 130 degrés dans le vide; il jaunit légèrement, mais il n'est nullement altéré. Il est impossible de le priver de toute son eau; si l'on n'emploie ce dernier moyen, il en retient avec opiniâtreté jusqu'à $\frac{1}{2}$ équivalent. A cette température qui la chasse, on la voit tapisser les parois du tube de verre où la combinaison plombique se trouve placée. Il ne faut pas laver le précipité sur le filtre, j'en indiquerai plus tard le motif.

Analyse de produits différents.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
(1) Oxyde de plomb.	75,00	75,46	75,32	75,58	75,39
Carbone........	"	"	12,19	"	12,12
Hydrogène......	"	"	1,70	"	1,67

Ces nombres mènent à la formule suivante :

$$2PbO, C^6H^5O^4,$$

qui donne les nombres :

Oxyde de plomb..	75,34
Carbone..	12,16
Hydrogène.......	1,69

La mannite perd donc, en se combinant à l'oxyde de plomb, 2 équivalents d'eau, $C^6H^7O^6 - 2HO = C^6H^5O^4$.

Le moyen que j'ai indiqué plus haut pour la préparation

(1) (1) 0gr,340 de matière donnent 0,255 d'oxyde de plomb.
(2) 0gr,432 de matière donnent 0,326 d'oxyde de plomb.
(3) 0gr,543 de matière donnent 0,409 d'oxyde de plomb; 0gr,854 de matière donnent 0,382 d'acide carbonique, et 0,131 d'eau.
(4) 0gr,344 de matière donnent 0,260 d'oxyde de plomb.
(5) 0gr,559 de matière donnent 0,421 d'oxyde de plomb; 1gr,341 de matière donnent 0,596 d'acide carbonique, et 0,202 d'eau.

du mannitate de plomb n'est pas le seul; on peut encore l'obtenir en précipitant par l'alcool une dissolution d'acétate de plomb ammoniacal contenant de la mannite, lavant à l'alcool le précipité jeté sur un filtre et lui faisant subir les opérations déjà indiquées.

Analyse de deux de ces produits provenant de deux opérations différentes.

	(1)	(2)
(1) Oxyde de plomb.	75,51	75,00
Carbone........	12,04	"
Hydrogène......	1,58	"

J'ai dit plus haut qu'il ne fallait pas laver le précipité, en voici la raison : tous ces précipités précédemment étudiés, traités par l'eau bouillante, jetés sur un filtre et lavés plusieurs fois à l'eau bouillante, laissent sur le filtre une poudre blanche que l'on dessèche comme les produits précédemment étudiés. C'est un mannitate plus basique; il contient 3 équivalents d'oxyde de plomb pour 1 de mannite qui a perdu, comme précédemment, 2 équivalents d'eau. Ce que l'eau bouillante produit dans ce cas, l'eau froide le produit aussi lorsque le précipité n'a pas encore été desséché et n'a pas acquis ainsi une cohésion plus grande.

Analyse de trois de ces mannitates provenant d'opérations différentes.

	(1)	(2)	(3)
(1) Oxyde de plomb.	81,88	82,45	81,80
Carbone........	8,88	8,76	"
Hydrogène.....	1,29	1,19	"

---

(1) (1) { 0gr,241 de matière donnent 0,182 d'oxyde de plomb; 0gr,743 de matière donnent 0,328 d'acide carbonique, et 0,106 d'eau.

(2) 0gr,478 de matière donnent 0,3585 d'oxyde de plomb.

(1) (1) { 0gr,345 de matière donnent 0,2825 d'oxyde de plomb; 1gr,442 de matière donnent 0,470 d'acide carbonique, et 0,1675 d'eau.

(2) { 0gr,513 de matière donnent 0,423 d'oxyde de plomb; 1gr,840 de matière donnent 0,591 d'acide carbonique, et 0,197 d'eau.

(3) 0gr,316 de matière donnent 0,2585 d'oxyde de plomb.

Ces nombres conduisent à la formule suivante :

$$3PbO, C^6H^5O^4,$$

qui donne les nombres suivants :

Oxyde de plomb.	82,11
Carbone........	8,83
Hydrogène......	1,22

L'eau dans laquelle a bouilli le précipité pour le transformer en mannitate plus basique, laisse déposer par le refroidissement un précipité blanc qui, séché sur un filtre, pressé et séché, présente un aspect grenu et cristallin; séché à 130 degrés et analysé, il a donné les nombres suivants :

	(1)	(2)	(3)
(2) Oxyde de plomb.	75,49	75,29	74,93
Carbone........	"	12,25	"
Hydrogène......	"	1,72	"

ce sont ceux du mannitate bibasique.

Enfin, la liqueur qui a laissé déposer ce dernier précipité, évaporé dans le vide et séché à + 130 degrés, a donné 67,90 (1) pour 100 d'oxyde de plomb. J'ai fait une analyse de ce produit desséché à 130 degrés; les éléments de la mannite étaient encore dans les rapports $C^6H^5O^4$. D'autres précipités obtenus dans de la mannite dissoute et en excès par l'acétate de plomb ammoniacal, ont aussi donné à l'analyse des quantités d'oxyde de plomb bien inférieures à 75,34.

De ces faits j'en déduirai que la mannite en se combinant à l'oxyde de plomb perd 2 équivalents d'eau; qu'elle peut former des espèces de sels plus ou moins basiques; que celui qui contient 1 équivalent d'oxyde de plomb est très-soluble dans l'eau; que celui à 2 équivalents, très-soluble dans l'a-

(2) (1) 0gr,202 de matière donnent 0,228 d'oxyde de plomb.

(2) 0gr,251 de matière donnent 0,189 d'oxyde de plomb; 1gr,405 de matière donnent 0,6315 d'acide carbonique, et 0,2175 d'eau.

(3) 0gr,407 de matière donnent 0,347 d'oxyde de plomb.

(1) 0gr,511 de matière donnent 0,347 d'oxyde de plomb.

cétate de plomb ammoniacal, surtout à chaud, l'est peu dans l'eau privée de ce sel, puisque séché après avoir été privé de tout l'acétate interposé et traité par l'eau bouillante, il n'en laisse déposer, par le refroidissement, que très-peu; que ce sel doit ne point être lavé à l'eau pure qui le modifie en entraînant un mannitate unibasique avec un peu d'une portion non décomposée, pour laisser du mannitate tribasique; que l'alcool ne présente point cet inconvénient dans le lavage de ce sel; que le mannitate tribasique est insoluble dans l'eau, qui agit probablement de la manière suivante pour le former :

$$2(2PbO, C^6H^5O^4) = 3PbO, C^6H^5O^4 + PbO, C^6H^5O^4.$$

Ce dernier étant soluble passe à travers le filtre. Le mannitate unibasique qui ne peut être obtenu défini, contient probablement de la mannite ayant encore perdu 2 équivalents d'eau; mais soit qu'on l'obtienne en faisant bouillir le sel bibasique avec de l'eau, soit qu'on le précipite par de l'acétate de plomb ammoniacal en quantité bien inférieure à la mannite employée, il est constamment mêlé à du mannitate bibasique, ce qui ne m'a pas permis de l'étudier autrement qu'en dosant l'oxyde de plomb, puis les éléments organiques dont j'étudie simplement les rapports.

La mannite isolée de ces combinaisons se reproduit avec sa constitution primitive : elle n'a subi aucune altération.

La mannite dissout d'autres bases; mais je n'ai pu obtenir jusqu'à présent que des produits qui n'étaient pas parfaitement définis, quoique ces bases, telles que la potasse, la baryte ou la chaux, quand elles ne sont pas trop concentrées, ne l'altèrent nullement, même lorsqu'on les porte à l'ébullition.

Ce corps fond à la température de 166 degrés, se solidifie à 162 degrés sans perdre de son poids.

La mannite réduit assez rapidement l'oxyde d'argent.

L'action de l'acide sulfurique concentré sur la mannite présente de l'intérêt. Il y a copulation entre ces deux corps et formation d'un acide que je nommerai acide *sulfo-mannitique;* on l'obtient de la manière suivante :

Il suffit de verser sur de la mannite de l'acide sulfurique concentré. Il y a dégagement de chaleur, et quand elle est bien pure, il ne se manifeste aucune coloration. Elle ne tarde pas à s'y dissoudre complétement; alors on étend la liqueur d'une grande quantité d'eau, puis on la traite par de la craie pulvérisée, jusqu'à sa neutralisation; on jette le tout sur un filtre; la liqueur filtrée contient cet acide en combinaison avec la chaux et un peu de sulfate de chaux. On la traite par l'acétate de baryte tant qu'il se forme un précipité, pour enlever l'acide sulfurique qui n'est pas à l'état de combinaison avec la mannite. Soumise alors à divers essais, elle donne les résultats suivants : chauffée après une ébullition de quelques instants, elle se trouble. Le précipité est du sulfate de chaux. L'alcool donne un précipité de sulfo-mannitate de chaux. Par l'acétate de plomb neutre, elle précipite peu abondamment; par l'acétate de plomb tribasique, le précipité est très-abondant. C'est ce dernier sel que j'ai étudié avec beaucoup de soin. Sur quatre produits obtenus séparément, les résultats ont été très-concordants.

Pour les avoir parfaitement purs, après avoir précipité le sulfo-mannitate de chaux par l'acétate de plomb tribasique en excès, quoique ce dernier point ne soit pas très-important, comme je m'en suis assuré, il faut jeter le précipité sur un filtre, le laver longtemps avec de l'eau distillée bouillie pour le priver entièrement d'acétate de plomb, le presser fortement entre des feuilles de papier joseph, le porter dans le vide sur l'acide sulfurique, après l'avoir préalablement desséché sur de la chaux. Ce précipité desséché est parfaitement blanc, insoluble dans l'eau, très-soluble dans l'eau légèrement acidulée, et n'accusant dans cette dernière cir-

constance aucune trace d'acide carbonique : je me suis assuré qu'il ne contenait pas d'acide acétique. Toutes ces précautions étaient importantes; car dans ce composé dont l'équivalent est si fort, je ne pouvais m'entourer de trop de précision pour arriver à connaître la quantité d'eau que la mannite peut avoir perdue, quantité qu'on ne peut guère apprécier qu'en dosant l'oxyde de plomb et l'acide sulfurique ensemble, une variation même de 1 équivalent d'eau donnant bien peu de différence dans les quantités des éléments organiques, quoique cette différence soit loin de ne pas être sensible.

Les divers sulfo-mannitates de plomb ont été desséchés finalement à une température de 130 degrés dans le vide, où ils acquéraient une teinte légèrement ambrée.

	(1)	(2)	(3)	(4)
(1) Oxyde de plomb et acide sulfurique.	88,11	88,17	87,74	87,85
Carbone	"	5,98	"	6,09
Hydrogène	"	0,85	"	0,79
Acide sulfurique	"	13,30	13,89	12,91

Ces analyses conduisent à la formule suivante :

$$4PbO, 2SO^3, C^6H^6O^4,$$

qui donne les nombres suivants :

Oxyde de plomb et acide sulfurique.	87,82
Carbone	6,01
Hydrogène	0,83
Acide sulfurique	13,37

---

(1) (1) 0gr,631 de matière donnent 0,556 d'ox. de plomb et d'ac. sul.

(2) 0gr,812 de matière donnent 0,716 d'ox. de plomb et d'ac. sul., et 0,3115 de sulfate de baryte; 2gr,013 de matière donnent 0,4415 d'acide carbonique, et 0,154 d'eau.

(3) 0gr,502 de matière donnent 0,4405 d'ox. de plomb et d'ac. sul., et 0,203 de sulfate de baryte.

(4) 0gr,712 de matière donnent 0,6255 d'ox. de plomb et d'ac. sul., et 0,2675 de sulfate de baryte; 1gr,901 de matière donnent 0,4245 d'acide carbonique, et 0,1355 d'eau.

Comme dans sa combinaison avec l'oxyde de plomb, la mannite perd donc 2 équivalents d'eau.

Ce sel n'est pas détruit rapidement par l'ébullition, car le produit n° 1, lavé à plusieurs reprises avec l'eau bouillante, a donné 88,52 (1) d'oxyde de plomb et d'acide sulfurique. La destruction commençant était donc bien peu avancée; bien plus, le même produit dissous, à l'aide de l'acide azotique, n'a laissé déposer du sulfate de plomb qu'après une ébullition de quelque durée.

Pour obtenir l'acide sulfo-mannitique, il suffit de traiter le sulfo-mannitate de plomb par l'hydrogène sulfuré, de filtrer et concentrer la liqueur sans employer la chaleur. Il ne précipite par les sels de baryte et de chaux; il suffit de le faire bouillir pour obtenir des précipités. Du reste, j'étudierai plus spécialement cet acide isolé en étudiant ses autres combinaisons.

Quelles que soient les recherches qu'il me reste à faire, je crois pouvoir conclure de celles faites déjà, que l'équivalent de la mannite ne doit pas être doublé, et reste $C^6 H^7 O^6$, formule dans laquelle on avait exprimé jusque-là le plus simple rapport de ces éléments constituants.

Action de la chaux anhydre sur la mannite; distillation du lactate de chaux.

La mannite distillée avec huit fois son poids de chaux anhydre, le mélange étant bien intime, donne naissance à tous les phénomènes indiqués par M. Frémy, que donne le sucre distillé avec la même base; je n'insiste donc pas sur ce point. Le récipient contient un produit huileux, légèrement ambré, surnageant l'eau, autre produit de la distillation. Lors de la réaction, il se dégage une grande quantité d'hydrogène. L'eau ne contient pas d'acétone; ce produit hui-

---

(1) 0gr,413 de matière donnent 0,3655 d'oxyde de plomb et d'acide sulfurique.

leux a une odeur éthérée, est soluble dans l'alcool et dans l'éther. L'acide chlorhydrique le dissout sans l'altérer; l'acide sulfurique le noircit. Il possède jusque-là les caractères de la métacétone.

Le lactate de chaux distillé perd d'abord une grande quantité d'eau : après avoir éprouvé la fusion aqueuse, il redevient solide, puis laisse distiller un produit huileux qui présente tous les caractères du produit précédent, de l'eau, il se dégage en même temps de l'acide carbonique. La réaction n'est pas instantanée comme la réaction précédente. Il faut chauffer assez fortement pour déterminer la décomposition des parties centrales de la masse : aussi l'huile est plus colorée; l'eau ne contient point d'acétone. Ces deux produits d'origine différente, après les opérations convenables pour les purifier séparément, ont donné à l'analyse des résultats concordants, même dans les variations. Ainsi la première portion en quantité faible, distillant à 84 degrés environ, a donné les nombres de la métacétone. Les portions suivantes, obtenues entre 160 et 180 degrés, sans ébullition, ont donné des nombres constants, mais supérieurs en carbone et en hydrogène, cet excès donnant un carbure d'hydrogène dans le rapport de CH. Enfin la partie recueillie entre ces deux points donne des nombres très-rapprochés de ceux de la métacétone, mais avec un peu plus de carbone, d'hydrogène, et moins cependant que dans le produit distillant entre 160 et 180 degrés, et toujours dans les rapports CH. Je donne ici trois de ces analyses :

	(1)	(2)	(3)
(1) Carbone....	73,22	74,62	77,42
Hydrogène..	10,17	10,40	10,84

Ces analyses ont été souvent répétées. Je n'ai pu jusqu'à

(1) (1) 0gr,404 de matière donnent 0,370 d'eau et 1,087 d'acide carbonique.
(2) 0gr,427 de matière donnent 0,400 d'eau et 1,169 d'acide carbonique.
(3) 0gr,410 de matière donnent 0,400 d'eau et 1,164 d'acide carbonique.

présent purifier davantage ce produit, que je n'ai jamais eu qu'en petite quantité. Le moyen qui jusque-là m'a le mieux réussi a été de le distiller à la lampe à alcool. On obtient ainsi beaucoup plus de métacétone, une brusque température semblant mieux séparer des produits qui bouillent à des températures bien différentes; ce moyen est celui qu'a employé M. Fremy. Du reste, la première portion qui passe à la distillation au bain d'huile à 84 degrés, et celle qui la suit immédiatement étant mise de côté, la partie qui distille sans ébullition entre 160 et 182 degrés est remarquable par la constance de ses nombres, qui sont ceux de l'analyse n° 3. Il est bien entendu que ces produits étaient redistillés avant leur analyse, après avoir été privés de l'eau qu'ils pouvaient contenir par leur contact prolongé avec le chlorure de calcium fondu.

J'espère pouvoir étudier avec plus de soin ces produits, quand je pourrai disposer d'une plus grande quantité, tout en essayant d'autres réactions qui pourront aussi m'éclairer sur leur constitution. La production de la métacétone, dans ces circonstances, est importante à noter, si l'on considère que le sucre, qui dans des circonstances semblables donne, outre ces produits, de l'acétone, peut, sous certaines influences, donner soit de l'acide acétique, soit de l'acide lactique et de la mannite.

La réaction qui donne de la métacétone peut se formuler ainsi pour l'acide lactique :

$$4(C^6H^6O^6) = C^6O^{12} + H^6O^6 + 3(C^6H^5O).$$

Pour la mannite, perdant de l'hydrogène pendant la réaction, on peut la formuler de la même manière.

La production du carbone s'expliquerait facilement en faisant intervenir 1 équivalent d'eau :

$$3(C^6H^5O) + HO = C^2O^4 + C^{16}H^{16}.$$

SUR L'EMPLOI DE LA LUMIÈRE POLARISÉE POUR ÉTUDIER DIVERSES QUESTIONS DE MÉCANIQUE CHIMIQUE;

PAR M. BIOT.

SECTION QUATRIÈME (*).

Sur les réactions qui s'opèrent dans les systèmes ternaires formés par l'acide tartrique, l'acide borique et l'eau, à une température constante.

61. Plusieurs chimistes fort renommés ont exprimé des opinions très-divergentes sur la nature des combinaisons que l'acide tartrique peut former avec l'acide borique en présence de l'eau, et l'on a même révoqué en doute l'existence, ou au moins la stabilité, d'une telle combinaison (**). Les observations optiques ne laissent à cet égard aucune incertitude. Elles prouvent matériellement que des systèmes composés de ces trois corps peuvent exister, en doses indéfiniment diverses, à l'état de liquidité, en formant des groupes chimiques, de constitution variable, selon les proportions des éléments de chaque système. On peut même, dans des cas très-généraux, découvrir ainsi la loi numérique suivant laquelle la constitution des groupes varie progressivement avec ces proportions.

L'existence et la spécialité de ces combinaisons se manifestent immédiatement par l'expérience suivante. Si, à une solution aqueuse d'acide tartrique d'un dosage connu, on mêle, à froid, une solution aqueuse d'acide borique, en proportions telles que le système résultant puisse subsister à l'état de liquidité, ce système agit sur la lumière polarisée tout autrement que la solution tartrique primitive. Son

(*) Voyez les cahiers de Janvier, Février, Mars et Avril, tome X.

(**) Thenard, *Traité de Chimie*, 6e édition, tome IV, page 35; Dumas, *Traité de Chimie appliquée aux arts*, tome V, page 304

action spécifique sur un même rayon simple est toujours plus énergique; et elle s'exerce sur les rayons lumineux de réfrangibilités diverses suivant d'autres lois de dispersion. La différence est déjà manifeste lorsque l'acide borique entre dans le système total pour une proportion pondérale moindre que $\frac{2}{1000}$. Avec une dose si faible, la loi de dispersion spéciale à l'acide tartrique a déjà disparu; et, pour des proportions d'acide borique tant soit peu plus fortes, si ce n'est pour celle-là même, le mode de dispersion rentre dans la loi générale, où les déviations éprouvées par les plans de polarisation des divers rayons simples sont sensiblement réciproques aux carrés des longueurs de leurs accès.

62. Pour étudier ces phénomènes dans leurs phases les plus simples, qui offrissent l'espérance d'y découvrir des lois physiques, j'ai opéré sur des systèmes tels que la proportion pondérale de l'acide tartrique y fût toujours dans un rapport constant avec la proportion pondérale de l'eau, celle de l'acide borique y étant le seul élément variable. Il est donc d'abord nécessaire de dire comment on peut former à volonté des systèmes pareils.

Soient A′ et A″ deux solutions aqueuses données, la première d'acide tartrique, la seconde d'acide borique, dont les compositions pondérales soient connues et exprimées ainsi qu'il suit :

Désignation de la solution.	Proportion pondérale d'acide dans l'unité de poids de la solution.	Proportion pondérale de l'eau, dans l'unité de poids de la solution.	Relation numérique des deux éléments de chaque solution.
Solution tartrique A′.	ε'	e'	$\varepsilon' + e' = 1$
Solution borique A″.	ε''	e''	$\varepsilon'' + e'' = 1$

On demande de composer avec ces deux solutions un système mixte dans lequel le rapport pondéral de l'eau totale

à l'acide tartrique soit donné et exprimé par n, en y ajoutant pour cela, au besoin, un poids d'eau connu. On demande, en outre, d'assigner la composition pondérale de ce nouveau système, c'est-à-dire les proportions pondérales ε d'acide tartrique, e d'eau, β d'acide borique qu'il renferme dans chaque unité de poids.

Soient pris des poids quelconques T de la solution tartrique A′, B de la solution borique A″, E d'eau additionnelle, donnant pour poids du système total $T + B + E$. Si l'on décompose T et B dans leurs principes constituants respectifs, et qu'on y ajoute E, on aura les éléments constituants du système mixte, tels que les représente le tableau suivant :

Poids employé de chaque système partiel.	Poids absolu d'acide.	Poids absolu d'eau.
Solution tartrique T.........	$\varepsilon' T$	$e' T$
Solution borique B......	$\varepsilon'' B$	$e'' B$
Eau additionnelle E..........	″	E

Alors la composition du système mixte $T + B + E$ sera telle qu'il suit :

Proportion pondérale d'acide tartrique dans chaque unité de poids de la solution :

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon' T}{T + B + E}.$$

Proportion pondérale d'acide borique dans chaque unité de poids de la solution :

$$\beta = \frac{\varepsilon'' B}{T + B + E}.$$

Proportion pondérale d'eau dans chaque unité de poids de la solution :

$$e = \frac{e' T + e'' B + E}{T + B + E};$$

ce qui donne généralement :

$$\varepsilon + \beta + e = 1.$$

Donc, pour que e soit égal à $n\varepsilon$, comme on le demande, il faudra poser l'équation de condition

$$e'T + e''B + E = n\varepsilon'T,$$

d'où l'on tire

$$E = (n\varepsilon' - e')T - e''B,$$

dans laquelle on a toujours

$$\varepsilon' + e' = 1.$$

Il convient de faire en sorte que E soit positif, ou tout au plus nul; car s'il était négatif, cela indiquerait qu'il faut enlever de l'eau au mélange formé des deux solutions pour obtenir le rapport constant que l'on désire, ce qui ne pouvant se réaliser que par évaporation, entraînerait des chances d'inexactitude, indépendamment de l'embarras du procédé. On échapperait à cet inconvénient si l'on employait l'acide tartrique à l'état solide. Car alors e' étant nul, ε' égal à 1, et le multiple donné n un nombre entier ou fractionnaire toujours positif, on pourrait toujours prendre le poids T assez grand pour que le produit nT surpassât ou égalât e''B. Mais, outre la dépense de temps qu'exigerait la complète liquéfaction du système mixte, on aurait toujours à craindre qu'il ne fût pas assez chargé ou suffisamment stable; et il est infiniment plus commode d'avoir seulement à mélanger des solutions déjà toutes faites. Heureusement l'expression de E nous montre que, pour pouvoir opérer ainsi, il suffit d'employer une solution tartrique assez chargée d'acide pour que le facteur $n\varepsilon' - e'$ soit positif. En effet, ceci étant supposé, lorsque l'on a placé un poids connu T de cette solution, dans une fiole tarée, sur le plateau de la balance avec laquelle on opère, on n'a plus qu'à y ajouter graduellement des poids B de la solution borique, qui soient tels que E reste positif ou devienne exactement nul, d'après son expression; ce qui ne laissera plus qu'à étendre le système de cette quantité d'eau éventuelle E pour

lui donner les proportions exigées par le rapport n. Et si l'on avait accidentellement dépassé ce terme où E est positif, parce que l'on aurait ajouté une trop forte quantité B de la solution borique, on pourrait toujours rétablir l'équilibre par une petite addition ultérieure de la solution tartrique T. Or, la condition préalable de $n\varepsilon' - e'$ positif, qui est imposée à celle-ci, est très-aisée à remplir. Car en désignant par n' le rapport pondéral de l'eau à l'acide tartrique, suivant lequel cette solution est faite, il en résultera

$$\frac{e'}{\varepsilon'} = n';$$

et comme l'on a toujours

$$e' + \varepsilon' = 1,$$

on tirera de ces deux équations

$$\varepsilon' = \frac{1}{n' + 1}, \qquad e' = \frac{n'}{n' + 1};$$

ce qui donne

$$n\varepsilon' - e' = \frac{n - n'}{n' + 1}.$$

Donc, pour que le premier membre soit positif, il suffit que n' soit moindre que n, c'est-à-dire que la solution tartrique soit faite avec une proportion d'eau moindre que les systèmes ternaires qu'on en veut déduire, ce qui est toujours facile à effectuer. Je puis assurer, pour en avoir fait des épreuves nombreuses, que la formation des systèmes ternaires successifs s'obtient ainsi à la balance avec autant de facilité que de précision, entre toutes les limites de dosage que la solubilité de l'acide borique permet de réaliser dans les circonstances où l'on opère. Je l'ai toujours employé ainsi, à l'état de cristal, dans les solutions B que j'en formais préalablement.

63. Supposant donc un certain nombre de systèmes ternaires où cet acide entre pour diverses proportions pondé-

rales β, depuis les plus faibles jusqu'aux plus fortes que comporte la solubilité actuelle, avec la condition que le rapport $\frac{e}{\varepsilon}$ soit constant dans tous et égal à n, on observe leurs densités respectives δ, ainsi que les déviations α qu'ils impriment à un rayon lumineux de réfrangibilité fixe, par exemple, au rayon rouge à travers des épaisseurs connues l, à une même température. Alors, dans chaque série de systèmes auxquels n est commun, les déviations α présentent constamment la loi physique suivante.

Soit, pour abréger,

$$[\alpha] = \frac{\alpha}{l\varepsilon\delta};$$

on a toujours

$$[\alpha] = A + \frac{B\beta}{\beta + C}.$$

A, B, C sont trois coefficients constants, propres à chaque série, mais qui varient avec la valeur du rapport n. En réalité, B et C sont les seuls qu'il faille emprunter aux observations de chaque série. Car le premier A, correspondant à β nul, exprime la valeur de $[\alpha]$, qui a lieu pour une solution tartrique exempte d'acide borique, et constituée suivant le rapport pondéral d'eau exprimé par n. Or, cette valeur a été déterminée antérieurement pour chaque température, d'après les lois rectilignes ou hyperboliques propres à ce genre de solutions, lorsque leur dosage est connu. Toutefois, dans les tableaux d'expériences que je présenterai plus loin, je n'ai pas voulu m'appuyer sur cette connexion, et j'ai préféré déduire les trois coefficients A, B, C des observations dans lesquelles β n'était pas nul, afin d'en faire sortir comme vérification et comme preuve de continuité, l'accord de la constante A avec la valeur de $[\alpha]$ propre à la solution tartrique pure. L'exactitude de cet accord se verra par les tableaux mêmes.

64. Si l'on veut considérer généralement $[\alpha]$ comme l'or-

donnée d'une courbe plane dont β serait l'abscisse, la relation trouvée ici entre ces deux variables se construit par une hyperbole équilatère, dont les asymptotes sont respectivement parallèles aux axes des coordonnées $[\alpha]$ et β, ainsi qu'on l'a représenté tome X, *Pl. IV*, *fig.* 5. Le centre C de cette hyperbole est placé au point dont l'abscisse OX est $\beta = -C$, et l'ordonnée CX, $[\alpha] = A + B$; son sommet S répond à l'abscisse OH où $\beta = -C + \sqrt{BC}$; et il a pour ordonnée HS, ou $[\alpha] = A + B - \sqrt{BC}$. Le point D, pris sur son périmètre, pour l'abscisse $\beta = 0$, répond au cas où le système ne contient pas du tout d'acide borique : aussi l'ordonnée qui y correspond est-elle $[\alpha] = A$, c'est-à-dire la valeur primitive de $[\alpha]$ pour la solution tartrique observée pure. C'est donc à partir de ce point D que la relation hyperbolique commence à être réalisable par l'expérience, et seulement pour des valeurs positives de β. Encore son application physique ne s'étend-elle pas indéfiniment à toutes ces valeurs, parce que, d'après la nature du problème, β représentant la proportion pondérale d'acide borique existante dans le système mixte, doit toujours rester moindre que l'unité qui est sa limite extrême. L'ordonnée $[\alpha] = A + \frac{B}{1 + C}$ qui répond à l'abscisse $\beta = 1$, exprime donc la plus grande valeur physique que $[\alpha]$ pourrait idéalement atteindre ; et comme le coefficient C est toujours une fraction très-petite, ainsi qu'on le verra dans les tableaux, elle est un peu inférieure à l'ordonnée asymptotique finale $[\alpha] = A + B$ qui est la limite géométrique de $[\alpha]$. Mais le peu de solubilité de l'acide borique, même sous l'influence de l'acide tartrique, crée un autre obstacle matériel qui rend le système des trois corps impossible à l'état liquide, pour des valeurs de β bien antérieures à la limite numérique $\beta = 1$. Car, à des valeurs beaucoup moindres, dans les températures auxquelles on peut pratiquement effectuer ces expériences, les portions de la solution borique que l'on voudrait ultérieu-

rement introduire laissent précipiter leur acide à l'état solide, ce qui rompt brusquement la continuité physique des résultats. Je n'ai même jamais pu, par cette cause, réaliser l'hyperbole jusqu'à son sommet S; de sorte qu'on n'en peut jamais obtenir qu'un arc fort restreint au delà du point D correspondant à la solution tartrique pure. Néanmoins, cette amplitude suffit pour que l'on puisse, soit graphiquement, soit par les nombres, constater indubitablement sa courbure, comme le prouvent les *figures* 6, 7 et 8, *Pl. I*, et les tableaux qui s'y rapportent à la fin de ce Mémoire, lesquels présentent sous une même forme les résultats de trois séries diverses, faites à des températures à peine différentes, avec des proportions d'eau très-dissemblables, depuis les plus faibles valeurs de β jusqu'aux plus grandes que la solubilité de l'acide borique ait permis d'employer dans chaque série sans précipitation. Les coefficients numériques des trois hyperboles ainsi obtenues sont exprimés dans le tableau suivant avec l'indication des circonstances générales propres à chaque série d'observations qu'elles représentent :

Rapport du poids de l'eau à celui de l'acide tartrique dans toutes les solutions de chaque série.	Coefficients numériques de l'hyperbole équilatère.			Température moyenne des observations de chaque série.
n	A	B	C	t
1,036666	7°2661	143°44690	0,28093240	+ 23°8
3,000000	9,5830	70,32000	0,07538665	23,4
5,000000	10,3336	51,88556	0,034308553	21,5

65. Le hasard des saisons, plutôt qu'une prévision calculée, a fait que ces trois séries ont été effectuées à des températures très-peu différentes; et, heureusement encore, cette phase de températures est précisément où le pouvoir

propre de l'acide tartrique n'est presque pas influencé par les variations de cet élément. Les différences qui se manifestent dans le coefficient A résultent des changements que ce pouvoir éprouve selon les diverses proportions d'eau associées à cet acide dans les solutions tartriques pures, et elles s'y reproduissent telles que l'observation immédiate de ces solutions nous les avait fait précédemment reconnaître, ce qui constate matériellement la continuité des résultats. Quant aux deux autres coefficients B et C, qui dépendent de l'action réciproque exercée entre chaque solution tartrique, et l'acide borique qu'on y introduit, on voit bien que leurs valeurs numériques croissent à mesure que la proportion d'eau n associée à l'acide tartrique devient moindre ; mais j'ignore la loi précise de ces variations. Seulement, par le tracé graphique comme par les nombres, on reconnaît que la portion réalisable de l'hyperbole s'est montrée d'autant plus courbe que la proportion constante de l'eau à l'acide tartrique a été plus grande. Et elle est devenue presque rectiligne dans la série où cette proportion était presque réduite à l'égalité. Or, d'après ce qui a été établi dans le § 59 de la section précédente, tome X, page 400, ce rapport d'égalité était précisément celui qui donnait au groupe d'acide tartrique et d'eau son maximum d'énergie optique, à la température où ses combinaisons avec l'acide borique s'observaient.

66. Dans le tableau détaillé de chaque série, j'ai appelé par abréviation la quantité $[\alpha]$ ou $\frac{\alpha}{l\varepsilon\delta}$ *le pouvoir rotatoire propre actuel de l'acide tartrique*, et j'ai exprimé ses valeurs pour une longueur de 100 millimètres, telles qu'elles se concluent de la loi hyperbolique, en mettant en regard les valeurs correspondantes effectivement données par l'observation. La différence moyenne de ces deux modes d'évaluation est inappréciable. L'énoncé précédent de $[\alpha]$ applique à l'acide tartrique seul le pouvoir spécifique réelle-

ment exercé par le groupe moléculaire quelconque, qu'il forme actuellement avec les deux autres éléments de chaque solution. Si l'on voulait transporter cet énoncé au groupe mixte composé d'eau et de cet acide, que l'on supposerait s'unir à l'acide borique sans décomposition, il n'en résulterait qu'un changement proportionnel dans les valeurs numériques absolues; mais la loi physique qui exprime leur mutuelle dépendance resterait la même. En effet, appliquant ici le raisonnement du § 20 de la section première, tome X, page 38, soit $[\alpha]'$ le pouvoir moléculaire *actuel* du groupe ainsi composé, quand il est entré en combinaison avec l'acide borique, et nommons $(\varepsilon)'$ sa proportion pondérale dans chaque unité de poids du système total. On aura d'abord

$$(\varepsilon)' = \varepsilon + e;$$

ou, puisque $e = n\varepsilon$,

$$(\varepsilon)' = (n + 1)\varepsilon.$$

Maintenant si ce groupe fait partie d'un système dont la densité est δ, et qu'il y porte le pouvoir résultant actuel $[\alpha]'$ qu'on lui attribue, il produira à travers l'épaisseur l une déviation totale exprimée par $[\alpha]' l\delta (\varepsilon)'$, ou $(n + 1) [\alpha]' l\varepsilon\delta$. Donc, si cette déviation réellement observée est α, on en conclura

$$(n + 1) [\alpha]' = \frac{\alpha}{l\varepsilon\delta};$$

et puisqu'on a fait

$$[\alpha] = \frac{\alpha}{l\varepsilon\delta},$$

il en résultera

$$(n + 1) [\alpha]' = [\alpha].$$

D'après cela, ayant constaté par l'expérience que, dans chaque série où n est constant, les $[\alpha]$ suivent une loi hyperbolique dont on détermine les coefficients, on voit que les $[\alpha]'$ y suivront aussi une loi pareille dont les coefficients A et B auront seulement une valeur moindre dans le rapport de $\frac{1}{1+n}$ à 1; de sorte que le groupe chimique composé d'acide

tartrique et d'eau ayant le pouvoir moléculaire $[\alpha]'$, offre, relativement à la proportion pondérale β d'acide borique mise en sa présence, une loi de connexion progressive, analytiquement pareille à celle que le groupe simple d'acide tartrique présentait dans les solutions purement aqueuses de cet acide, relativement à la proportion pondérale e d'eau à laquelle il était alors associé, ainsi que nous l'avons établi dans le § 55 de la section précédente, tome X, page 393. Car l'hyperbole de la *fig.* 5, tome X, *Pl. IV*, modifiée par le facteur $\frac{1}{n+1}$ et l'hyperbole de la *fig.* 2, sont toutes deux de même nature, comme toutes deux semblablement disposées et appliquées aux éléments analogues des deux systèmes; d'où il résulte avec évidence que leur marche pareille représente des phénomènes pareils de réaction moléculaire entre des groupes chimiques différents. Il n'y a de dissemblance que dans les valeurs absolues des éléments numériques.

67. Enfin, si l'on voulait considérer le groupe moyen, composé d'acide tartrique et d'eau dont le pouvoir est $[\alpha]'$, comme formant avec l'acide borique une combinaison uniforme indéfiniment variable à mesure que la proportion β de ce dernier acide augmente, chaque système mixte ainsi constitué réaliserait le cas des liquides chimiquement homogènes que nous avons traité d'abord dans les §§ 8 et 27 de la première section, tome X, pages 18 et 49. Nommant donc $[\alpha]''$ le pouvoir rotatoire moléculaire des groupes complexes ainsi composés, on aurait, comme dans les paragraphes cités,

$$[\alpha]'' = \frac{\alpha}{l\delta}.$$

Or, pour chaque série de systèmes pareils où le rapport du poids de l'eau à celui de l'acide tartrique est n, l'expérience nous donne la relation hyperbolique

$$\text{(H)} \qquad \frac{\alpha}{l\varepsilon\delta} = A + \frac{B\beta}{\beta + C},$$

A, B, C étant trois coefficients numériques, fonctions de n seul et constants dans une même série. Il en résulterait donc

$$[\alpha]'' = \left[A + \frac{B\beta}{\beta + C}\right] \varepsilon.$$

Mais les trois quantités ε, β, e sont liées entre elles par la relation générale

$$\varepsilon + \beta + e = 1,$$

laquelle, pour les systèmes que nous réunissons dans une même série, devient

$$(n + 1)\,\varepsilon + \beta = 1,$$

d'où

$$\varepsilon = \frac{1 - \beta}{n + 1}.$$

Cette valeur de ε étant substituée dans l'expression de $[\alpha]''$, il en résulte finalement

$$(n + 1)\,[\alpha]'' = A\,(1 - \beta) + \frac{B\beta\,(1 - \beta)}{\beta + C}.$$

Ainsi, dans chaque série de systèmes où n sera donné lorsque l'on connaîtra les coefficients A, B, C de la relation hyperbolique propre à cette série, on obtiendra par cette formule le pouvoir moléculaire $[\alpha]''$ du groupe mixte, composé d'acide tartrique, d'eau et d'acide borique qui se réalise pour chaque proportion pondérale de ce dernier acide, exprimée par la valeur correspondante que l'on voudra attribuer à β. Le pouvoir optique de ce groupe variera donc continûment dans chaque série avec cette proportion; et il variera encore continûment d'une série à une autre pour une même valeur de β, selon la proportion d'eau associée à l'acide tartrique, laquelle est exprimée par le nombre n, sans que ces changements aient d'autres bornes que la possibilité pour chaque système d'exister à l'état de liquidité avec les éléments qui le constituent.

D'après l'expression générale de $(n + 1)\,[\alpha]''$, on trouve que, dans chaque série où n est constant, l'action optique

du groupe complexe formé d'acide tartrique, d'eau et d'acide borique, atteint son maximum d'énergie lorsque la proportion pondérale de ce dernier acide est telle qu'on ait

$$\beta = -C + \sqrt{\frac{BC(1+C)}{A+B}};$$

mais en substituant dans cette expression les valeurs de A, B, C propres à chacune de nos séries, on voit que la valeur de β, correspondante au maximum qu'elle indique, n'a pas pu y être réalisée à cause du défaut de solubilité de l'acide borique. En effet, le calcul ainsi effectué donne

Pour $n = 1{,}03666$, $\beta = 0{,}30431$;
$n = 3{,}0000$, $\beta = 0{,}19172$;
$n = 5{,}0000$, $\beta = 0{,}13688$;

or, les plus grandes valeurs de β que j'aie réalisées sont pour la première série 0,094, pour la deuxième, 0,0492, et pour la troisième, 0,0695, valeurs toutes fort inférieures aux précédentes. A la vérité je ne me rappelle pas aujourd'hui avec certitude si, dans la deuxième, j'ai poussé les expériences jusqu'à la limite de précipitation de l'acide borique, et il est présumable que je ne l'ai pas fait. D'après les valeurs de β données par la formule, c'est-à-dire par la loi numérique du phénomène, on voit que le maximum d'action optique du groupe complexe répond à une proportion pondérale d'acide borique moindre, à mesure que le système contient plus d'eau, et conséquemment moins d'acide tartrique dans l'unité de poids. Mais, très-vraisemblablement, cette particularité tient à la température.

Si l'on rapproche ces résultats de ceux que nous avons déjà trouvés pour les simples solutions aqueuses d'acide tartrique, on concevra que le double mode de mutabilité observé ici n'est qu'une extension de ce que nous avons reconnu alors, laquelle est due à la plus grande complication du système ternaire que nous avons considéré. Et l'on n'y pourra voir de même qu'une réaction simultanée des trois

corps mis en présence, produisant dans toute la masse du système des groupes chimiques uniformes, perpétuellement variables dans leur constitution matérielle comme dans leurs propriétés optiques. Les nombreuses expériences que j'ai consignées dans le tome XVI des *Mémoires de l'Académie* sur les systèmes liquides formés par l'acide tartrique et l'eau avec les terres et les alcalis fixes, conduisaient déjà à cette même conséquence; mais je n'avais pas pu alors suivre aussi loin les phases de leurs mutations, ni en établir aussi rigoureusement les lois physiques que je viens de le faire ici.

68. Il me reste à donner quelques indications sur la marche qu'il faut suivre pour déterminer aisément les constantes A, B, C qui caractérisent la loi hyperbolique propre à chaque série où le rapport n de l'eau à l'acide tartrique a une même valeur. Représentant donc, comme précédemment, par $[\alpha]$ la fonction $\frac{\alpha}{l\varepsilon\delta}$, qui est l'ordonnée de l'hyperbole correspondante à l'abscisse β, nous avons

(H) $$[\alpha] = A + \frac{B\beta}{\beta + C}.$$

L'opération devient très-facile si l'on veut employer comme donnée la valeur de $[\alpha]$, fournie par l'observation de la solution tartrique pure. En effet, β étant nul alors, cette valeur de $[\alpha]$ doit être égale à la constante A qui se trouve déterminée par cette condition. A étant connu ainsi, je mets l'équation sous la forme

$$\{[\alpha] - A\}\beta + \{[\alpha] - A\}C = B\beta.$$

Désignons par $[\alpha]_2$, β_2, $[\alpha]_3$, β_3, les valeurs simultanées de $[\alpha]$ et de β, relatives à deux autres observations de la même série, où on les aura déterminées expérimentalement. Chacun de ces couples devra satisfaire à la relation précédente, ce qui fournira les deux conditions

$$\{[\alpha]_2 - A\}\beta_2 + \{[\alpha]_2 - A\}C = B\beta_2;$$
$$\{[\alpha]_3 - A\}\beta_3 + \{[\alpha]_3 - A\}C = B\beta_3.$$

Tout est connu dans ces équations, excepté B et C; et ces quantités y entrent toutes deux sous forme linéaire. On pourra donc aisément les en déduire par l'élimination; et en les associant à la valeur déjà obtenue de A, on aura les trois constantes de la série. Alors on calculera les valeurs de $[\alpha]$ par celles de β pour les autres observations que l'on aura pu faire; et en les comparant aux $[\alpha]$ observés, on constatera l'exactitude de la loi hyperbolique qui les unit.

69. Mais, quand on ne veut pas employer l'observation de la solution tartrique pure pour déterminer directement la constante A, afin de faire sortir de la loi même la valeur de $[\alpha]$ qui y correspond, il faut faire subir à l'équation (H) une transformation préliminaire pour ne pas tomber dans des calculs de radicaux. A cet effet, j'y change le produit $B\beta$ dans son équivalent $B(\beta + C - C)$; et en effectuant la division par $\beta + C$ sur les deux premiers termes, j'obtiens

$$[\alpha] = A + B - \frac{BC}{\beta + C}.$$

Substituant alors de nouvelles lettres pour représenter les coefficients ainsi groupés, je fais

$$A + B = a; \qquad BC = b; \qquad C = c;$$

ce qui donne

$$[\alpha] = a - \frac{b}{\beta + c},$$

et par suite

$$\{[\alpha] - a\}\{\beta + c\} = -b.$$

Si nous parvenons à déterminer les nouvelles constantes a, b, c, nous en déduirons aussitôt A, B, C par leurs relations avec elles. Je n'ai même changé C en c que pour compléter l'analogie de la nouvelle notation.

Prenons maintenant, dans la série d'un même système de solutions, trois couples de valeurs simultanées $[\alpha]_1$, β_1; $[\alpha]_2$, β_2; $[\alpha]_3$, β_3, pour chacun desquels on ait déterminé,

d'après l'observation, la valeur de $[\alpha]$ qui correspond à celle de β. Ces couples devront satisfaire à la relation hyperbolique. On aura donc

$$\{[\alpha]_1 - a\}\{\beta_1 + c\} = -b;$$
$$\{[\alpha]_2 - a\}\{\beta_2 + c\} = -b;$$
$$\{[\alpha]_3 - a\}\{\beta_3 + c\} = -b.$$

Et puisque les premiers membres sont égaux à la même quantité $-b$, on aura, en les égalant,

$$\{[\alpha]_2 - a\}\{\beta_2 + c\} = \{[\alpha]_1 - a\}\{\beta_1 + c\};$$
$$\{[\alpha]_3 - a\}\{\beta_3 + c\} = \{[\alpha]_1 - \alpha\}\{\beta_1 + c\}.$$

En développant les multiplications indiquées, le produit ac disparaît de chacune de ces équations; et c'est en cela que la simplification consiste. Alors, il reste

$$o = [\alpha]_3\beta_2 - [\alpha]_1\beta_1 + \{[\alpha]_2 - [\alpha]_1\}c - (\beta_2 - \beta_1)a;$$
$$o = [\alpha]_3\beta_3 - [\alpha]_1\beta_1 + \{[\alpha]_3 - [\alpha]_1\}c - (\beta_3 - \beta_1)a.$$

Tout est maintenant connu dans ces deux équations, excepté les constantes a et c qui s'y trouvent sous forme linéaire. On les en déduira donc facilement par l'élimination quand on aura converti en nombres tous les termes qui leur sont associés. a et c étant ainsi obtenus, on aura b par une quelconque des trois équations qui l'expriment, ce qui servira à vérifier l'exactitude des calculs par leur accord. Et de là on tirera enfin les valeurs des constantes primitives A, B, C, qui seront

$$A = a - \frac{b}{c}, \qquad B = \frac{b}{c}, \qquad C = c.$$

Telle est la voie la plus simple et la plus sûre pour les calculer exactement.

Résumé.

70. Dans la première section de ce Mémoire, j'ai établi, par le raisonnement et par l'expérience, les caractères de l'action que les molécules d'un grand nombre de substances exercent sur la lumière polarisée; et j'en ai déduit des for-

mules qui expriment tous les effets optiques que des substances ainsi constituées doivent produire, sur un rayon lumineux polarisé qui en traverse des épaisseurs sensibles, lorsqu'elles sont amenées dans un état complet de désagrégation, ou dans un état d'agrégation tout à fait confus, qui permet à l'action de leurs molécules de se manifester librement. J'ai exposé ensuite les procédés par lesquels on distingue ces phénomènes moléculaires des apparences semblables, qui peuvent être produites par des circonstances spéciales d'agrégation, comme cela a lieu dans le quartz régulièrement cristallisé lorsque la lumière le traverse suivant son axe de double réfraction. Il est à remarquer que, jusqu'ici, l'action moléculaire dont il s'agit n'a pu être observée que dans des substances, ou dans des combinaisons, qui renferment au moins un élément organique.

71. Dans la deuxième section j'ai confirmé ces considérations par un ordre de faits d'une nature toute différente. J'ai montré que, lorsque des substances douées d'un pouvoir rotatoire moléculaire sont mêlées ou combinées dans l'état liquide avec des corps inactifs, les résultantes d'action exercées sur la lumière polarisée par ces systèmes mixtes, dans l'un ou l'autre état, sont exactement concordantes avec les rapports de variation qui s'observent entre leurs densités et celles des systèmes primitifs dont ils dérivent, la comparaison étant faite à une même température; de sorte que l'on en tire les mêmes conséquences sur l'état actuel de combinaison ou de non-combinaison des systèmes ainsi formés.

72. Dans la troisième section j'ai appliqué ces principes aux effets optiques produits sur la lumière polarisée par les solutions aqueuses d'acide tartrique, de dosages divers, soit qu'on les observe pures ou associées à d'autres substances qui partagent leur état de liquidité, et j'ai établi les lois numériques auxquelles la succession de ces phénomènes est assujettie. Dans les solutions aqueuses pures, j'ai prouvé que l'acide n'est pas seulement mélangé avec l'eau, mais qu'il forme avec toute la masse de ce li-

quide mise en sa présence, une combinaison uniforme, en proportions continûment variables avec le dosage, de sorte que l'action ainsi exercée par chaque particule d'acide se propage indéfiniment à toutes les particules d'eau qui l'environnent, soit par voie directe, soit par communication comme l'action magnétique, et de même qu'elle, avec une énergie qui décroît à mesure que la masse d'eau impressionnée augmente, sans être limitée mathématiquement.

73. Enfin, dans la section quatrième, j'ai considéré les effets produits par des solutions aqueuses d'acide tartrique de dosages constants, lorsqu'on y introduit successivement des quantités d'acide borique graduellement croissantes. J'ai prouvé que, dans ce cas encore, la solution aqueuse primitive se combine tout entière avec l'acide borique introduit, en formant avec lui un système ternaire uniforme, de proportions continûment variables, dont le changement progressif, décelé par les effets optiques, suit des lois pareilles à celles qu'avaient présentées les combinaisons, également progressives, de l'acide tartrique avec l'eau seule.

74. Ces expériences, jointes à tant d'autres que j'ai consignées dans les *Mémoires* et les *Comptes rendus des séances de l'Acad. des Sciences*, ou qui ont été faites par différents observateurs, montrent, je crois, avec évidence, combien l'observation des pouvoirs rotatoires moléculaires peut servir pour éclairer les questions les plus abstraites de mécanique chimique, que l'on n'a pu jusqu'ici aborder par aucun procédé expérimental. C'est ainsi que, dans beaucoup de cas, elle fournit des caractères de distinction moléculaires, non moins évidents que certains, entre des substances qui semblent exactement isomériques lorsqu'on se borne à les comparer d'après les analyses pondérales de leurs masses sensibles. Quoi de plus tranché, par exemple, que la distinction de l'acide tartrique et de l'acide paratartrique; le premier agissant par rotation sur la lumière polarisée, et portant ce pouvoir dans toutes les combinaisons où on l'engage; tandis que le second, soit isolé, soit combiné, se

montre absolument sans action ! Les huiles essentielles et leurs modifications chimiques présentent une multitude de cas pareils.

75. Ce sont encore les procédés optiques qui ont donné les premières notions exactes sur la nature de la substance qui constitue les fécules qu'on extrait du tissu cellulaire d'un grand nombre de végétaux, et sur le progrès des transformations chimiques qu'on peut lui faire artificiellement subir. Lorsque ces produits pulvérulents sont observés sous le microscope, entre deux prismes de Nicol, dont les sections principales sont croisées rectangulairement, surtout si leur action sur la lumière polarisée est rendue plus manifeste par l'interposition d'une lame de chaux sulfatée *sensible*, on voit qu'ils sont des amas de globules ovoïdes, composés de couches solides, transparentes, intimement superposées, distinctes entre elles par leurs densités propres ou par leur mode d'apposition, et constituées par sections méridiennes autour d'un même point de la superficie du globule que l'on a nommé l'ombilic, à peu près comme les pans d'une poire ou les côtes d'un melon le sont autour du pédoncule par lequel leur alimentation s'est opérée. Et, de même aussi, cette structure est localement fixe comme dans ces fruits; car les effets qu'elle produit sur la lumière polarisée subsistent sans modification dans chaque fragment d'un globule brisé (*). Tant

(*) Pour faire ces observations, j'emploie un microscope achromatique contenant un petit prisme de Nicol, fixé derrière la lentille objective du côté de l'oculaire. J'insère quelques particules de fécule dans une mince couche d'eau renfermée entre deux verres, dont l'un est plan, et l'autre légèrement concave à l'intérieur, mais plan au dehors. Quand ce système a été placé sur le porte-objet et amené au point de vue, je place, en avant de lui, un second prisme de Nicol qui s'insère dans un anneau centré sur l'axe du faisceau incident, et je tourne ce prisme sur lui-même jusqu'à ce que, en vertu de son croisement avec son analogue, postérieur à la lentille objective, le champ de la vision devienne complétement noir dans toutes les parties où la marche des rayons lumineux n'est pas interrompue par les globules féculacés. Alors, chacun des filets lumineux qui traversent ces globules y éprouve un déplacement de son plan de polarisation qui en fait apercevoir les contours, et leur donne l'apparence indiquée dans le texte. Si la fécule est

que ceux-ci conservent leur état d'agrégation naturel, ils ne sont pas solubles dans l'eau ; mais les acides sulfurique, nitrique, chlorhydrique, oxalique, et probablement beau-

---

fraiche, on voit ainsi généralement, dans chaque globule, une croix noire dont les branches se coupent dans son ombilic, et paraissent droites ou courbes, selon que l'axe de génération du globule se présente droit ou oblique vers l'œil. Ces apparences sont surtout régulières quand la fécule a été préalablement lavée, à froid, dans une eau légèrement acidulée par un ou deux millièmes d'acide chlorhydrique, ce qui nettoie la surface des globules des débris organiques qui les salissent souvent et qui peuvent être produits, soit par les déchirures des membranes cellulaires qui les renferment, soit par leur mutuelle friction quand on les prépare. Mais quand la fécule est vieille, les globules sont généralement déformés et ridés, ce qui y produit des apparences de secteurs inégaux ayant néanmoins toujours l'ombilic pour sommet. Ces phénomènes de polarisation se manifestent de la même manière et avec des caractères pareils dans toutes les fécules, les plus petites comme les plus grosses. Mais ils sont d'autant plus énergiques, que le volume des globules est plus considérable ; et dans un grand nombre leur intensité va jusqu'à produire des couleurs analogues à celles des plaques d'alun, à cela près que les contours des portions colorées sont courbés, parce qu'ils suivent les inflexions du plan tangent à chaque plage de la surface des globules. Ils subsistent dans chaque portion de globule accidentellement brisée, comme si elle était entière ; et quand deux ou plusieurs globules se sont naturellement greffés ensemble, ce qui arrive souvent dans les grosses fécules, chaque individu les produit encore autour de son axe propre. Ces caractères de direction relatifs à des plans méridiens ne pourraient évidemment résulter de l'existence d'un liquide intérieur : ils ne conviennent qu'à un système régulièrement agrégé par l'organisation. Le caractère lamellaire de ce genre d'action se manifeste de même par les modifications qu'il produit dans les couleurs propres des lames minces cristallisées que l'on interpose dans le trajet des rayons, postérieurement au premier prisme. Pour donner à ces effets le plus haut degré de manifestation qu'ils puissent atteindre, il faut choisir une lame mince de chaux sulfatée dont l'épaisseur soit telle, que sa teinte extraordinaire soit le pourpre violacé gris de lin de Newton, qui répond dans sa Table des épaisseurs des lames d'air au nombre 21,5, parce que c'est là que le changement des teintes est le plus rapide, passant, par la moindre action soustractive, au rouge, et par la moindre action additive, au vert. C'est ce que j'ai appelé, dans mes expériences sur les phénomènes lamellaires, *la lame sensible*. Aussi en l'interposant, comme je l'ai dit, dans le trajet des rayons entre les prismes croisés, tous les secteurs qui paraissaient blancs avant son interposition se montrent alternativement rouges, jaunes, bleus, ou verts, selon la direction du plan tangent à leurs couches ; et leur ensemble, dans le champ de la vision, présente un des plus curieux spectacles physiques qu'on puisse voir.

coup d'autres, du nombre desquels il faut toutefois excepter l'acide acétique, désunissent leurs particules constituantes, soit à froid s'ils sont très-concentrés, soit même à l'état de très-grande dilution quand on favorise l'action de ces dissolvants par une légère élévation de température, ou qu'on l'aide par la chaleur et la pression dans l'autoclave (*). Cette désagrégation est graduelle; et, selon qu'elle est plus ou moins avancée, les portions désunies peuvent rester plus ou moins longtemps en suspension, ou si l'on veut, en solution dans l'eau en présence de l'acide, ou même après que celui-ci a été saturé par un alcali, surtout si le sel formé n'est pas précipitable; et l'on arrive enfin à un degré de ténuité tel que la substance désagrégée peut se soutenir indéfiniment, même dans l'eau pure, après que tout l'acide a été séparé. Ces parcelles du globule primitif, selon leur degré d'atténuation et de désorganisation plus ou moins complètes, se montrent aussi plus ou moins susceptibles d'être teintes par l'iode, qui colore, comme on sait, la fécule naturelle en bleu quand on la tient précipitée dans l'eau à des températures moindres que 100°; et les nuances qu'elles prennent sont diverses selon ces deux particularités d'état. De sorte qu'en brisant les globules féculacés par la trituration mécanique, on peut leur enlever par l'eau froide quelques parcelles, encore organisées, quoique si fines, qu'elles se soutiennent dans ce liquide comme une véritable solution continue, laquelle, à froid, se colore en bleu par l'iode, puis se décolore par une élévation de température moindre que 100°, et se recolore de nouveau spontanément lorsqu'elle se refroidit, si l'on a pris les précautions nécessaires pour que toute l'iode ne soit pas vaporisée (**); mais tous ces chan-

(*) Cette dernière expérience est due à M. Jacquelain, préparateur à l'École centrale des travaux publics; il a désagrégé ainsi la fécule et l'a convertie en dextrine soluble, par l'action de l'eau chargée de $\frac{2}{1000}$ d'acide oxalique, en élevant suffisamment la température dans des vases fermés.

(**) Cette curieuse expérience est due à M. Lassaigne, qui l'a décrite dans

gements sont purement physiques. Car, dès que la matière féculacée a été suffisamment désagrégée pour rester, même temporairement, en suspension ou en solution dans l'eau pure ou mêlée d'acides, elle manifeste un pouvoir rotatoire

---

le *Journal de Chimie médicale,* tome IX, page 651, année 1833. Je conserve depuis plusieurs années un flacon bouché à l'émeri rempli d'une solution aqueuse de fécule et d'iode, jouissant de ces propriétés de mutabilité, et qui m'a été remis par M. Lassaigne lui-même. Il l'avait préparée en versant 3 décilitres d'eau froide sur 0gr,4 de fécule triturée, et filtrant le mélange pour séparer la portion devenue soluble, puis y ajoutant 30 décilitres d'une solution aqueuse d'iode. Ce mélange, bleu d'abord, se décolorait par une élévation convenable de température, puis était redevenu bleu en se refroidissant; et il avait constamment gardé cette dernière teinte pendant plusieurs années, en se maintenant tout à fait limpide. L'ayant soumis de nouveau aux mêmes épreuves ces jours derniers, dans un bain-marie chauffé progressivement, le flacon étant seulement entr'ouvert, la couleur bleue a disparu bien avant que le bain lui-même approchât de l'ébullition, et elle ne s'est pas restituée par le refroidissement. Mais le liquide refroidi était encore immédiatement colorable par une nouvelle addition de teinture alcoolique d'iode. Et si l'on faisait cette addition quand il était chaud, il prenait seulement une teinte jaune qui revenait graduellement au bleu à mesure que la température s'abaissait. J'ai profité de sa décoloration pour observer son pouvoir optique dans un tube de 500 millimètres. Il ne produisait pas une déviation appréciable à travers cette longueur; d'où je conclus que la proportion pondérable de dextrine dissoute y était au-dessous de $\frac{1}{1000}$; ce qui montre à la fois l'excessivement petite quantité de matière soluble que l'eau froide peut enlever à la fécule seulement triturée, et l'excessive sensibilité du réactif chimique qui rend de si petites quantités manifestes par la coloration qu'il leur imprime. Toutefois, cette coloration ne s'opère plus ainsi quand l'organisation des granules dont les globules de fécule se composent a été complétement détruite. Car le sirop de dextrine, préparé par l'acide sulfurique, puis séparé de cet acide par la saturation, ne se colore plus en bleu par la teinture d'iode, ni à chaud ni à froid. Il en reçoit seulement une teinte d'un jaune plus ou moins rougeâtre, quoiqu'alors il contienne une quantité considérable de dextrine, c'est-à-dire de fécule complétement désagrégée et amenée à l'état moléculaire, laquelle s'y manifeste tant par la grande énergie de son pouvoir rotatoire que par la précipitation que l'alcool y opère. Pour observer la succession des teintes que la fécule reçoit de l'iode, dans les diverses phases de sa désagrégation, soit mécanique, soit chimique, je dispose un microscope de manière que le bout du tuyau qui porte la lentille objective soit tourné de bas en haut, de sorte que les pinceaux lumineux la traversent de haut en bas, puis soient ramenés horizontalement vers l'œil par la réflexion totale sur un prisme intérieur. Alors, sur le porte-objet, devenu supérieur, je pose un verre de montre bien poli, très-

constant, très-énergique, proportionnel à sa masse, et dirigé vers la droite de l'observateur; ce qui nous a portés, M. Persoz et moi, à lui donner la dénomination de *dextrine* lorsque nous l'eûmes isolée, et que nous y eûmes reconnu ce caractère (*). Or, la proportionnalité de l'action

---

mince, dans lequel je verse de l'eau qui s'y dispose en ménisque, et dans cette eau j'injecte les grains de fécule entiers ou brisés qui, tombant au fond, deviennent observables *par-dessous* à travers le verre. Deux branches métalliques, faisant partie du porte-objet, et s'étendant latéralement, portent à leurs extrémités deux petites lampes à alcool, qui élèvent à volonté leur température et la transmettent au petit verre qui contient l'eau, laquelle peut être ainsi amenée graduellement jusqu'à l'ébullition. Par cet artifice, on peut observer l'expansion et la désagrégation progressive des globules féculacés à mesure qu'elles s'opèrent. On les voit se séparer en lambeaux, en granules; et, en y injectant quelques atomes de solution d'iode, on aperçoit la diversité progressive des teintes qu'elles donnent à toutes ces parties, selon l'épaisseur et l'état d'agrégation qu'elles conservent. On peut, avec le même appareil, étudier l'action progressive des alcalis et des acides sur les globules féculacés, en introduisant ces réactifs par doses aussi minimes qu'on le désire. Et sans doute, on pourrait aussi le faire servir pour observer le progrès d'une multitude de réactions chimiques dont les phases de mutation seraient très-intéressantes à étudier. Ces diverses dispositions additionnelles au microscope ont été fort habilement effectuées par M. Ch. Chevallier.

(*) Recherches sur les modifications que la fécule et la gomme éprouvent sous l'influence des acides. (*Mémoires de l'Académie des Sciences,* tome XIII.) Dans ce Mémoire, qui m'est commun avec M. Persoz, nous avons étudié le progrès de la désagrégation de la fécule, sous l'influence de l'eau et des acides aidée de la chaleur, depuis le moment où le système devient complétement fluide, jusqu'à celui où la substance féculacée se change en sucre fermentescible, ce qui se fait par une transformation brusque accompagnée d'un affaiblissement considérable du pouvoir rotatoire. J'ai ajouté depuis, à ce travail, quelques expériences ayant pour but de prouver immédiatement l'exacte identité de la substance active qui s'obtient ainsi par désagrégation, sous l'influence de divers acides. Elles consistent d'abord à former avec chacun d'eux des solutions aqueuses soigneusement dosées. Alors ayant pris de chacune des poids connus, dans des fioles tarées, on y introduit des poids également mesurés d'une même fécule prise dans un état hygrométrique commun à toutes ses parties; on élève lentement la température de ces systèmes jusqu'au point précis de leur liquéfaction, et on leur restitue de nouveau, sous la balance, la petite quantité d'eau que l'évaporation a pu leur enlever, ou on l'évalue par la diminution de poids et on en tient compte par le calcul, ce qui revient au même. On observe ensuite l'effet optique de ces solutions dans des tubes de longueur connue, on mesure aussi leurs

optique à la masse active dissoute, tant qu'elle existe, atteste un état moléculaire constant. Maintenant, pour constater cette permanence d'action moléculaire pendant tous les degrés d'atténuation que la substance qui compose les globules peut recevoir, il suffit de l'expérience suivante. Si l'on verse, peu à peu, sur de la fécule, une quantité suffisante d'acide nitrique très-concentré, dans un mortier de verre, en désagrégeant les grumeaux par la trituration continue pour rendre l'action de l'acide uniforme et générale, on obtient, après quelques instants, un liquide diaphane qui, par un mélange d'eau, précipite une poudre blanche que M. Braconnot, qui l'a le premier obtenue, a nommée *xyloïdine*, et que M. Pelouze a reconnu contenir les éléments de l'acide nitrique, joints ou combinés avec ceux de la fécule (*). Mais, plus on tarde, plus la précipitation par

densités à une même température, et de ces éléments on conclut le pouvoir rotatoire propre de la substance féculacée qu'ils contiennent. On le trouve le même pour toutes, quel que soit l'acide employé, pourvu que l'on se soit arrêté soigneusement au terme précis de la liquéfaction, en sorte qu'aucune portion de la matière employée n'ait passé à l'état de sucre; ou que si une telle altération s'est opérée sur quelques particules, ce qui est peut-être bien difficile à éviter, du moins leur poids soit insensible comparativement à la masse totale employée. J'ai publié ces expériences dans le journal *l'Institut*, tome III, page 13; mais il serait à désirer qu'elles fussent reprises aujourd'hui, comme elles pourraient l'être, avec plus de précision et de généralité.

(*) *De la transformation de plusieurs substances végétales en un principe nouveau*, par M. Braconnot. (*Annales de Chimie et de Physique*, 2e série, tome LII, page 290.) Ce travail est antérieur aux recherches mentionnées dans la note précédente. A l'époque où il fut composé, on ne connaissait pas encore l'emploi que l'on peut faire du pouvoir rotatoire, comme caractère moléculaire des corps qui en sont doués. Si l'auteur avait pu appliquer ce procédé d'observation à la substance qu'il obtenait en faisant agir l'acide nitrique concentré sur la fécule, le ligneux, le linge de coton ou de chanvre, il aurait aisément reconnu qu'elle était non pas produite, mais seulement extraite de ces corps dans un état de désagrégation qui modifiait seulement ses propriétés physiques sans changer son état moléculaire, et qu'elle n'était autre chose que l'élément des globules féculacés qui s'y trouvent contenus. L'importante remarque de M. Pelouze sur la présence simultanée des deux éléments du système dans la matière précipitée par l'eau, est consignée dans une Note insérée aux *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, tome VII, page 713.

l'eau diminue, et enfin elle cesse entièrement, après quoi la liqueur reste encore quelque temps limpide, puis elle se colore de plus en plus, et il s'y forme finalement divers produits qui n'ont pas été encore complétement étudiés. Mais, jusqu'à cette dernière phase de la réaction chimique, la fécule n'a fait que se désagréger progressivement sans changer d'état moléculaire. Car si l'on prend la solution aussitôt qu'elle est devenue tout à fait limpide, qu'on en remplisse un tube de verre fermé à ses extrémités par des glaces à faces parallèles et qu'on le porte sur l'appareil de polarisation, on lui trouve un pouvoir rotatoire considérable, dirigé comme celui de la dextrine vers la droite de l'observateur; et ce pouvoir reste exactement constant pendant plusieurs jours malgré toutes les variations que la substance subit durant cet intervalle dans sa faculté d'être précipitée par l'eau. Cela prouve donc la constance de son état moléculaire parmi cette diversité de phases physiques. Aussi, pendant tout le temps qu'elle les parcourt, si l'on recueille le précipité formé par l'eau et qu'on l'observe au microscope, on y reconnaît les lambeaux de la fécule progressivement lacérés par l'acide qui les imprègne, et mêlés à une multitude de granules de dimensions encore perceptibles. Même, quand la réaction n'est pas très-avancée, si l'on applique à l'observation les prismes de Nicol croisés rectangulairement, et associés à une lame de chaux sulfatée *sensible*, on voit que plusieurs des lambeaux, et les plus gros des granules eux-mêmes, conservent encore leur organisation primitive assez peu altérée pour agir visiblement sur la lumière polarisée, et modifier la teinte propre de la lame sensible, en rouge ou en vert. Ces phénomènes ne cessent qu'avec la précipitation par l'eau; et c'est aussi alors que le pouvoir rotatoire commence à changer notablement, l'acide ayant assez désagrégé la matière des globules féculacés pour pouvoir modifier sa nature chimique. Lorsque cette réaction s'opère à une température modérée, par exemple de 15° à 20° centésimaux, elle est

progressive; c'est-à-dire qu'elle ne s'exerce pas instantanément sur toute la masse active, ce que l'on peut reconnaître par l'affaiblissement graduel du pouvoir rotatoire, comme aussi parce que le reste de la substance active est encore précipitable, non plus par l'eau, mais par l'alcool; et l'on peut aisément constater aussi que, même dans ces phases avancées de l'action, la faculté d'agir sur la lumière polarisée appartient exclusivement aux molécules féculacées qui ne sont pas encore détruites. Car si l'on sature l'acide par l'addition d'une solution alcaline, que l'on introduit dans le liquide mixte, en proportion connue de volume, on trouve que le pouvoir rotatoire conserve la même intensité qu'auparavant; et, en faisant évaporer lentement la solution à une douce chaleur, on obtient un véritable sel qui, redissous, manifeste de nouveau le pouvoir rotatoire. Mais, outre ses éléments alcalins et acides, ce sel est mêlé à la *dextrine* que la solution renfermait encore. Aussi ne peut-on jamais en déterminer la cristallisation dans cet état mixte, et l'on n'y parviendrait qu'en le purgeant de cette substance. On trouvera à la fin de ce Mémoire deux tableaux d'expériences dans lesquelles le progrès du phénomène a été suivi dans toutes ses phases, aussi longtemps que le liquide formé a pu être observé par transmission.

76. Les phénomènes rotatoires ont donné à la médecine un diagnostic aussi sûr que facilement applicable pour constater l'existence et apprécier les phases diverses de cette cruelle maladie appelée le *diabète sucré;* en faisant connaître d'un seul coup d'œil, par une expérience d'un moment, la quantité absolue de sucre actuellement contenue dans les urines, à toutes les périodes de la maladie, comme à toutes les époques du traitement médical qu'on peut lui opposer (*). Une autre observation qui sera aussi très-utile, c'est celle par laquelle M. Bou-

(*) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences,* tome XI, p. 1028. Pour la mesure quantitative de la matière sucrée, *voyez* tome XV, pages 633 et 634.

chardat a découvert que tous les alcalis végétaux sont doués de pouvoirs rotatoires, de sens et d'intensités divers (*). Car, non-seulement cette propriété servira pour les caractériser visiblement, et pour reconnaître avec facilité toutes les falsifications qu'on pourrait leur faire subir; mais, en outre, les modifications temporaires ou durables que leur font éprouver les autres alcalis et les acides, ainsi que les combinaisons diverses dans lesquelles on peut les engager sans qu'ils se décomposent, fourniront une multitude d'expériences importantes pour éclaircir le mécanisme moléculaire des actions chimiques. Si je ne me fais pas illusion sur la portée de ces phénomènes, c'est là un champ d'études des plus importants, comme des plus fructueux, dans lesquels un chimiste physicien puisse entrer.

Enfin, les mêmes procédés ont déjà servi pour suivre la marche des sucs naturels des végétaux dans les diverses parties de leurs organes, en prenant pour indice les modifications subies par les matières sucrées que ces sucs contiennent, à mesure qu'ils sont portés par le progrès de la végétation, des racines dans le tronc, du tronc dans les feuilles, et qu'ils redescendent de celles-ci dans les canaux extérieurs voisins de la surface, où se forment les nouvelles couches ligneuses des arbres exogènes. Je rapporte ici, en note, l'indication de plusieurs recherches de ce genre qui ont été déjà publiées; mais je les présente moins comme des travaux terminés, que comme des essais qui mériteraient d'être continués et étendus plus loin (**).

(*) *Sur les propriétés optiques des alcalis végétaux*, par M. Bouchardat. (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome IX, page 213.)

(**) Journal *l'Institut*: Sur quelques nouveaux faits pour servir à l'histoire de la végétation, tome I, page 229. Description d'un appareil à double effet pour observer les mouvements de la séve ascendante et la recueillir, tome II, pages 66 et 222.—*Nouvelles Annales du Muséum d'histoire naturelle*: Sur le mouvement et la nature de la séve de printemps, tome II, page 271. Sur les variations lentes ou soudaines qui s'opèrent dans les combinaisons organiques, tome II, page 335. Sur les transformations opérées par la vie végétale dans

77. Je rappellerai en terminant que, d'après les expériences faites par M. Melloni et moi, il y a déjà plusieurs années, les propriétés rotatoires du cristal de roche s'exercent aussi sur les rayonnements calorifiques, et leur impriment des déviations de même sens qu'aux rayons lumineux, c'est-à-dire également dirigées pour chaque plaque vers la droite ou vers la gauche de l'observateur. Par une conséquence nécessaire de cette propriété, lorsque diverses plaques de quartz, perpendiculaires à l'axe de cristallisation, sont interposées simultanément, et en succession, dans un même flux calorifique préalablement polarisé, leurs effets individuels s'ajoutent ou se compensent, selon que le sens de leur action propre est semblable ou contraire. Ces expériences ont été décrites dans les *Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. II, p. 194; mais nous n'avons pas essayé si la même propriété de modifier les flux calorifiques existerait pour les liquides qui exercent un pouvoir rotatoire sur la lumière polarisée; et il y aurait beaucoup d'intérêt à constater l'identité ou la dissemblance de l'action dans ce dernier cas, où elle est purement moléculaire.

Tableaux contenant les résultats de deux expériences dans lesquelles on a suivi pendant plusieurs jours le progrès de la réaction de l'acide nitrique concentré sur la fécule, en vases clos.

Première expérience. — La mixtion a été opérée le matin du lundi 8 avril 1844, par M. Pelouze, avec de la fécule du commerce et de l'acide nitrique fumant très-concentré. Dès que la liquéfaction a paru suffisamment complète, la solution décantée a été introduite dans un tube de verre

---

les produits carbonisés qui servent d'aliment aux jeunes individus, tome II, page 365. Sur l'application de la polarisation circulaire à l'analyse de la végétation des graminées, tome III, page 47. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* : Remarques et expériences de physique végétale, à l'occasion d'une Lettre sur la filtration des liquides à travers les tiges ligneuses, t. XII, page 357.

dont la longueur était $146^{mm},25$, et qui était fermé par des glaces minces à faces parallèles. Il était 9 heures du matin. A travers cette épaisseur elle semblait encore un peu trouble. Néanmoins on put reconnaître son action sur la lumière polarisée, et la déviation qu'elle opérait dans les plans de polarisation fut évaluée, par approximation, entre $+ 20^{\circ},5$ et $+ 21^{\circ},5$ vers la droite de l'observateur. Le reste de la solution fut conservé dans un flacon bouché à l'émeri, dans des conditions de température pareilles à celles que contenait le tube; et l'on se servit de cette réserve pour remplacer au besoin la petite portion de liquide que la vaporisation dissipait par les surfaces de jonction des obturateurs, ou même pour continuer à suivre son action dans d'autres tubes de longueur peu différentes, lorsque la corrosion des enveloppes métalliques exigeait ce changement. Mais tous ces résultats ont été rendus comparables en les ramenant, par la loi de proportionnalité, à ce qu'ils auraient été dans le tube primitif. Comme on avait surtout pour but de suivre le progrès de la réaction, et non pas d'en fixer la marche rigoureuse, on n'a pas observé les déviations à travers le verre rouge, ce qui eût été fort long et fort pénible; on les a seulement déterminées à l'œil nu, d'après le passage de l'image extraordinaire du bleu évanouissant au rouge jaunâtre naissant, en y joignant l'indication de la teinte actuelle du liquide observé. Cela rend la mesure des déviations ainsi obtenues relativement un peu trop faible à mesure que la teinte du liquide devient plus foncée en se rapprochant du rouge. Mais cette infériorité relative ne rendra ici que plus sensible la lenteur des modifications moléculaires éprouvées par la substance de la fécule sur laquelle l'acide agit.

Jours et heures des observations. Avril 1844.		Déviation observée à l'œil nu et réduite à une épaisseur commune de $146^{mm},25$.	Couleur du liquide dans le tube d'observation.	Remarques diverses.
Lundi 8,	$10^h\ 0^m$ du mat.	$+ 21°95$	Jaune-verdâtre.	La solution est encore un peu louche, elle précipite par l'eau.
Id.	$11^h 45^m$ du mat.	21,91	Jaune-verdâtre.	Vision bien meilleure, mais la liqueur est encore un peu louche.
Id.	$4^h 30^m$ du soir.	21,75	Jaune-verdâtre.	Idem. Précipite par l'eau.
Mardi 9,	$8^h 30^m$ du mat.	21,50	Jaune moins verdâtre.	Liqueur plus claire; précipite par l'eau. Le précipité, vu au microscope polarisant, se compose de lambeaux de fécule et d'une multitude de granules féculacés; quelques-uns ayant encore assez conservé leur organisation pour modifier la teinte propre de la lame sensible, en rouge et en vert.
Id.	$11^h\ 0^m$ du mat.	21,50	Jaune moins verdâtre.	
Id.	$4^h\ 0^m$ du soir.	21,00	Jaune d'or.	Température 19°. A travers un verre jaune d'épreuve la déviation est + 19°,5.
Mercredi 10,	$8^h\ 0^m$ du mat.	20,50	Jaune-orangé.	Précipite par l'eau.
Id.	$11^h\ 0^m$ du mat.	19,50	Orangé.	A travers le verre jaune d'épreuve la déviation est + 18°,25.
Id.	$4^h\ 0^m$ du soir.	19,50	Orangé-rougeâtre.	
Jeudi 11,	$10^h\ 0^m$ du mat.	18,56	Orangé-rougeâtre très-foncé.	La solution ne précipite plus par l'eau.
Id.	$12^h 30^m$ du soir.	18,31		
Id.	$4^h\ 0^m$ du soir.	17,32	Rouge-orangé.	A travers le verre jaune d'épreuve, la déviation est + 16°,37.
Vendredi 12,	$11^h\ 0^m$ du mat.	17,00	Rouge-orangé.	Ne précipite nullement par l'eau.
Id.	$4^h\ 0^m$ du soir.	16,50	Rouge-orangé.	
Lundi 25,	$11^h\ 0^m$ du mat.	13,86	Rouge-orangé.	La vision ne peut plus s'opérer à travers l'épaisseur $146^{mm},25$. On est obligé de faire l'observation dans un tube de $99^{mm},2$ où le liquide paraît d'une teinte orange foncée. La déviation y est + 9°,4, ce qui donne 13°,86 dans 146,25. La solution ne précipite plus par l'eau, mais elle précipite par l'alcool, ce qui est le propre de la dextrine, c'est-à-dire de la fécule amenée au plus haut point de désagrégation moléculaire.

Si l'on a égard au changement progressif de la couleur du liquide, on voit, par les nombres de ce tableau, que le pouvoir rotatoire de la substance active est resté sensiblement constant depuis le premier instant de la liquéfaction, jusqu'au jeudi 11, où la désagrégation moléculaire de la fécule a été assez complète pour qu'il ne s'opérât plus de précipitation dans l'eau. Mais, à partir de ce terme, l'affaiblissement progressif du pouvoir rotatoire montre que l'acide a commencé à dénaturer graduellement les molécules constituantes de la fécule, et à la changer en un autre produit de rotation moindre, ou peut-être inverse. Pour suivre plus loin cette réaction et en déterminer le produit final, il faudrait faire l'expérience sur des masses dosées en poids, et examiner les propriétés tant chimiques que physiques du résultat de la transformation; mais cette recherche ne peut être entreprise avec succès qu'avec le secours de connaissances chimiques que je n'aurais pu y apporter.

La seconde expérience relative à l'action de l'acide nitrique concentré sur la fécule n'ayant pas pu être terminée aussitôt qu'on l'espérait, on en renverra le détail à un numéro prochain.

SUR L'ÉLASTICITÉ DU BOIS;

PAR M. DE HAGEN.

(*Monatsbericht der Academie*, novembre 1842, Berlin.)

Les observations ont été faites sur des verges prismatiques présentant une section quadrangulaire ou rectangulaire, qui avaient éte découpées au moyen d'une scie circulaire, dans des pièces de bois bien sèches et dont les fibres étaient bien droites : leur épaisseur variait de $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{2}$ pouce. Pour opérer, on fixait ces verges à leur extrémité inférieure, et on leur donnait une position verticale, puis on faisait agir diverses tractions sur leur extrémité supérieure, qui était libre, de manière à les courber tantôt dans un sens, tantôt dans un autre. Les écartements étaient marqués par une aiguille placée suivant la longueur de la barre.

TAB[...] *proportion constante de 1,03666 partie d'eau*

Dates des expérien[...]	[...]otatoire actuel de l'acide tar-[...]r le rayon rouge, évalué pour [...]sseur de 100mm, $\frac{\alpha}{l \varepsilon \delta}$, [...]hyperbole	observé.	Excès du pouvoir calculé par l'hyperbole sur le pouvoir conclu de l'observation immédiate.	
1836.	[...]5610	7°63096	— 0°36486	
	[...]3590	7,94092	— 0,00502	Donnée de l'hyperbole.
	[...]4630	9,06823	— 0,05193	
	[...]3950	11,43255	+ 0,30695	
	[...]487	18,2946	+ 0,15410	
	[...]034	22,91154	— 0,0080	Donnée de l'hyperbole.
	[...]046	35,5215	— 0,4169	
	[...]79	42,72024	— 0,0023	Donnée de l'hyperbole.
	[...]324	42,4279	+ 0,8045	
Équati[...]	[...]s écarts positifs.....		+ 1°26555	
	[...]s écarts négatifs		— 0,84901	
Nota. —[...] difficultés [...]	[...]ale des écarts.......		+ 0,41654	
peu de ce[...]	[...]en $\frac{1}{9}$..............		+ 0,04628	A peine sensible.

TABLEA[...]*rtion constante de 3 parties d'eau pour 1 d'acide*

Dates des expériences	[...]otatoire actuel de l'acide tar-[...]r le rayon rouge, évalué pour [...]sseur de 100mm, $\frac{\alpha}{l \varepsilon \delta}$, [...]r l'hyp.	observé.	Excès du pouvoir calculé par l'hyperbole sur le pouvoir [...] conclu de l'observation immédiate.	
1837.	[...]830	9°8636	— 0°2806	
	[...]019	10,20187	0,0000	Donnée de l'hyperb.
	[...]046	11,0406	+ 0,1640	
	[...]056	19,4056	0,0000	Donnée de l'hyperb.
	[...]514	37,3514	0,0000	Donnée de l'hyperb.
Équati[...]	[...]nt positifs que négatifs.		— 0,1166	
	....		— 0,0233	Insensible.

TABLEAU ...s *la proportion constante de 5 parties d'eau*

Dates des expériences.	...re actuel de l'acide tar... rayon rouge évalué pour ... de 100mm, $\frac{\alpha}{l \varepsilon \delta}$, ...bole	observé.	Excès du pouvoir calculé par l'hyperbole sur le pouvoir conclu de l'observation immédiate.	
1838.		10°9127	− 0°5791	
1838.		12,7384	0,0000	Donnée de l'hyperbole
1838.		14,4887	+ 0,3989	
1838.		16,7197	+ 0,0595	
1838.		16,2276	+ 0,6358	
1836.		21,6176	− 0,0327	
1838.		25,0926	+ 0,2326	
1838.		26,6703	+ 0,[illegible]18	
1838.		33,3060	0,0000	Donnée de l'hyperbole
1836.		36,4954	− 0,5269	
1838.		35,3154	+ 0,0834	
1836.		36,5225	− 0,5194	
1838.		38,3159	+ 0,3131	
1836.		39,8488	+ 0,0234	
1838.		41,8894	− 0,1628	
1838.		45,0790	0,0000	Donnée de l'hyperbole
Équation d...	...ifs.............		+ 1,9385	
	...tifs............		− 1,8209	
	....		+ 0,1176	
NOTA. La tem... celle à laquelle...	....		+ 0,00735	Insensible.

La disposition précédente est basée sur cette propriété des verges élastiques, que pour de petits écartements, les tangentes à l'extrémité libre de la verge vont se rencontrer en un même point de la direction primitive; de plus, quand l'extrémité libre de la verge est soumise à l'action d'une force qui agit perpendiculairement à sa direction, ce point de rencontre est placé au tiers de la longueur; il se trouve au quart quand la force agissant toujours perpendiculairement est répartie sur toute la longueur de la verge; et enfin, ce point est à une distance $\frac{1}{\pi}$ quand la verge est comprimée dans le sens de sa longueur.

Pour qu'il soit possible de calculer l'élasticité d'une verge d'après ses dimensions et les courbures qu'on lui donne par des tractions appliquées à son extrémité libre, il est nécessaire de savoir si la résistance de certaines fibres longitudinales est la même à la *traction* qu'à la *compression*.

Si l'on observe que dans l'état naturel, la forme d'un corps résulte d'un état d'équilibre entre les forces de traction et de répulsion, on en conclura, avec Poisson, que quand on ploie une verge prismatique, dont la section présente un rectangle, les fibres dont la longueur ne change pas se trouvent au *milieu* de la verge. Cependant il semblerait résulter, d'expériences faites en Angleterre sur le bois et sur le fer, que ces fibres dont la longueur reste constante sont plus rapprochées du côté concave de la verge, c'est-à-dire que pour une traction et une compression égales, l'allongement qui a lieu dans le premier cas est plus grand que la contraction qui correspond au deuxième. Quoi qu'il en soit, comme ces expériences sont d'une exécution difficile, et qu'on y avait dépassé la limite de l'élasticité, nous admettrons comme exact le principe posé par Poisson, et alors, en opérant comme nous l'avons indiqué en commençant au moyen de la courbure des verges sous diverses tractions, il sera facile de déterminer le *coefficient d'élasticité*, c'est-à-dire le poids qui serait nécessaire pour doubler la longueur d'une verge de la substance présentant 1 pouce carré de section.

Pour du pin sylvestre, dont les fibres étaient bien droites, et qui était très-résineux, l'observation m'a donné, pour deux verges : 2 025 000 et 2 088 000 livres pour valeur du coefficient d'élasticité.

En faisant une expérience directe sur une autre verge très-mince coupée dans la même planche que les deux précédentes, et en mesurant son allongement sous diverses tractions, j'ai obtenu 20 350 000 livres pour son coefficient d'élasticité, nombre qui concorde bien avec celui obtenu par la première méthode.

En opérant de la même manière sur des verges de pin syl-

vestre, coupées non plus parallèlement aux fibres, mais perpendiculairement, j'ai obtenu, pour le coefficient d'élasticité, 39 500 livres d'après la courbure, et 37 600 d'après l'observation directe de l'allongement.

Il me semble que la concordance de ces résultats, qui est très-satisfaisante, en ayant égard aux erreurs que comporte ce genre d'expériences, démontre, pour cette espèce de bois, l'exactitude de l'hypothèse qui nous a servi de point de départ.

D'après des expériences comparatives de Barlow sur la courbure des verges de fer et l'allongement que prennent ces verges sous une forte traction, il semblerait qu'on n'obtient pas la même valeur pour le coefficient d'élasticité ; mais si en partant des expériences de Barlow on néglige celles qui se rapportent à de *fortes courbures* de la verge, on arrive encore à la même détermination ; par conséquent, le principe posé par Poisson est vrai pour le bois et pour le fer, et peut être admis généralement.

J'ai réuni dans le tableau qui suit les valeurs moyennes du coefficient d'élasticité qu'on obtient d'après mes observations pour diverses espèces de bois, et l'allongement sous lequel la rupture a lieu :

I. — *Suivant les fibres.*

	Nombre des expériences.	Coefficients d'élasticité.	Allongement maximum.
Pinus sylvestris.	9	1 760 000	0 115
Pinus abies.....	1	1 945 000	0,0107
Chêne.........	5	1 537 000	0,0139
Hêtre rouge....	2	2 168 000	0,0118
Hêtre blanc....	2	2 145 000	0,0124

II. — *Perpendiculairement aux fibres.*

	Nombre des expériences.	Coefficients d'élasticité.	Allongement maximum.
Pinus sylvestris.	2	37 000	0,0268
Pinus abies.....	1	23 000	0,0303
Chêne..........	2	105 000	0,0190
Hêtre rouge.....	2	97 000	0,0500
Hêtre blanc.....	1	94 500	0,0250

L'expérience apprend que les erreurs sur le coefficient d'élasticité peuvent être de $\frac{1}{6}$ de sa valeur ; cependant, quand on opère sur des verges appartenant à la même planche, les variations ne sont que de $\frac{1}{20}$.

Quand l'axe de la verge fait un angle φ avec les fibres du bois, le calcul apprend que le coefficient d'élasticité e qui correspond à cette verge peut se déduire des coefficients e', e'' d'une verge coupée parallèlement et perpendiculairement aux fibres par la formule

$$e = \frac{e' e''}{e' \sin \varphi^3 + e'' \mathrm{co}\varphi}.$$

J'ai eu l'occasion de vérifier l'exactitude de cette formule par des expériences nombreuses faites sur le chêne et le pin sylvestre. Je n'ai trouvé aucune différence bien grande entre l'aubier et le cœur du bois; mais j'ai reconnu que le coefficient d'élasticité diminue lorsque le bois est fortement mouillé; ainsi, pour des verges de pin sylvestre coupées parallèlement aux fibres, il varie dans le rapport de 12 à 11, et quand ces verges sont coupées perpendiculairement aux fibres, il se réduit de 8 à 3.

NOTE SUR LES PHÉNOMÈNES D'INDUCTION;

PAR M. DUJARDIN (de Lille).

(Extrait d'une Lettre adressée à l'Académie des Sciences.)

Je désire appeler un instant l'attention de l'Académie sur les phénomènes d'induction qui se produisent dans une circonstance particulière, où on ne les a *peut-être* pas encore soupçonnés jusqu'à ce jour. Ces phénomènes peuvent se résumer dans la proposition générale que voici : Lorsque l'on fait tourner les aiguilles aimantées d'un galvanomètre, ces aiguilles développent dans le fil de l'instrument des courants d'induction, dont la direction change à chaque demi-rotation des aiguilles aimantées. Cette proposition découle tout naturellement de l'axiome fondamental qui a servi de point de départ à M. Faraday, pour découvrir les phénomènes d'induction, savoir: qu'il n'y a pas d'action sans réaction; car, si les courants électriques qui parcourent le fil d'un galvanomètre ont la propriété de faire tourner les aiguilles de cet instrument, il paraît plausible de conclure que réciproquement les aiguilles d'un galvanomètre doivent avoir, en tournant, la propriété de développer des courants électriques dans le fil qui est enroulé autour d'elles. C'est ce qui a lieu en effet, et on le constate de la manière suivante : On réunit bout à bout les fils de deux galvanomètres sensibles, de telle sorte que les deux fils réunis ne forment qu'un seul circuit fermé. On doit avoir la précaution de tenir les galvanomètres assez distants l'un de l'autre pour que leurs aiguilles ne puissent pas s'influencer directement. On fait tourner alors, à l'aide de la main, et le moins mal possible, les aiguilles de l'un des galvanomètres, et l'on voit au même instant les aiguilles de l'autre accuser la présence d'un courant d'induction, faible à la vérité, et cela se conçoit, mais parfaitement saisissable. A chaque demi-rotation des aiguilles, la direction du courant d'induction change. On peut donner à ces courants d'induction une intensité beaucoup plus grande, en sub-

stituant aux aiguilles aimantées de l'un des galvanomètres un barreau d'acier trempé, de même longueur que les aiguilles, mais beaucoup plus fortement aimanté, qu'on fait tourner sur lui-même, comme il a été dit précédemment. On voit alors les oscillations des aiguilles de l'autre galvanomètre prendre beaucoup plus d'amplitude. Peut-on espérer qu'en employant un galvanomètre de très-grandes dimensions, et à fil très-long, dans l'intérieur duquel on ferait tourner, au moyen de quelque combinaison mécanique convenable, un puissant faisceau de barreaux aimantés, on parviendrait à obtenir des courants d'induction énergiques, comme ceux que développent les machines magnéto-électriques de Pixii et de Clark? c'est là un problème que l'expérience seule peut résoudre.

RECHERCHES SUR LA DISPOSITION DES ZONES SANS PLUIE ET DES DÉSERTS;

PAR M. J. FOURNET,

Professeur à la Faculté des sciences de Lyon.

Dans l'état actuel de la science, les météorologistes sont parvenus à distinguer diverses zones plus ou moins exactement parallèles à l'équateur et assujetties à autant de régimes distincts sous le rapport du mode de distribution des pluies suivant les saisons. Nous allons les faire connaître après avoir averti une fois pour toutes que dans ce résumé préliminaire, ainsi que dans l'ensemble du travail, nous conserverons invariablement aux saisons de l'un et de l'autre hémisphère le nom qu'elles portent dans le nôtre. Ainsi, par exemple, l'été se composera des mois de juin, juillet, août; l'hiver, des mois de décembre, janvier, février et de leurs annexes, quelle que soit d'ailleurs la partie du globe que nous aurons à faire connaître. Cette définition était nécessaire, d'abord parce que les époques des sécheresses de l'hémisphère austral sont les époques humides de l'hémisphère boréal, ou réciproquement; et qu'en second lieu, les expressions destinées à définir les saisons se compliquent encore de quelques autres dénominations locales, telles que *hivernage, petit été*, etc., qui, n'étant pas toujours bien précises, se prêtent par cela même à différentes ambiguïtés trop fréquentes dans les relations des voyageurs.

La première des zones en question, celle à *deux pluies annuelles*, ayant une grande tendance à passer aux *pluies continuelles*, se trouve placée à peu près sur l'équateur, sauf quelques déviations qu'il est inutile de faire connaître en ce moment. Viennent ensuite les bandes à *pluies hémi-annuelles* comprises entre la ligne équi-

noxiale et les tropiques ; dans celles-ci il pleut pendant les six mois qui suivent l'instant du passage du soleil par le zénith, c'est-à-dire que l'on a des *pluies d'été* dans l'hémisphère nord et des *pluies d'hiver* dans l'hémisphère sud ; ces *pluies semestrielles* dégénèrent du reste en *pluies trimestrielles* à la proximité même des tropiques. Enfin ce régime intertropical est parfaitement réglé, en ce sens qu'on peut dire d'une manière générale qu'à des sécheresses absolues durant quelques mois, succèdent des pluies presque journalières dans la saison opposée. C'est là ce qui constitue les *saisons des soleils et des nuages* de l'Indien de l'Orénoque, et il n'y a guère que les hautes chaînes de montagnes ou le voisinage des côtes qui provoquent des perturbations dans les phénomènes de cet ordre.

En dehors des tropiques, M. de Buch a signalé le premier l'existence des zones dites *subtropicales*, dans lesquelles les pluies deviennent l'inverse de ce qu'elles étaient dans les bandes précédentes ; c'est-à-dire qu'elles sont *hyémales* dans notre hémisphère, et *estivales* dans l'hémisphère sud ; en d'autres termes, elles arrivent pour chacune de ces stations, lorsque le soleil se trouve dans l'hémisphère opposé, et comme exemples on peut citer l'Algérie et le cap de Bonne-Espérance. Ce régime ne possède déjà plus l'extrême régularité qui caractérise celui des tropiques ; car des averses, des orages y interrompent de temps à autre l'uniformité des sécheresses propres aux autres périodes de l'année, tout comme les pluies y sont sujettes à de fréquentes solutions de continuité.

Plus loin vers le nord, dans notre hémisphère, les faits se compliquent encore davantage par l'intercalation de pluies irrégulières et plus fréquentes ; mais en prenant les sommes de plusieurs années, on reconnaît que les mois caractérisés par les plus grandes quantités d'eau pluviale sont ceux du *printemps et de l'automne ;* tel est le régime qui domine dans tout le midi de l'Europe, jusqu'à la latitude de Paris environ.

Enfin, au delà et jusque vers le pôle nord, ces pluies de *printemps et d'automne* se réunissent de manière à produire un maximum dans la *saison d'été,* l'inverse devant naturellement avoir lieu dans l'autre hémisphère.

On peut rendre les résultats précédents plus palpables à l'aide de courbes pour le tracé desquelles il suffit d'élever sur une ligne équatoriale des perpendiculaires équidistantes et représentant les divers mois. Celles qui figurent les mois du printemps, de l'été et de l'automne rempliront l'espace intermédiaire, de manière que l'été occupera le milieu. Ce premier tracé sera complété par les diverses latitudes ; coordonnant ensuite les indications pluviométriques à l'aide de ces axes, on aura, pour notre hémisphère, d'abord sur la ligne équatoriale, la bande rectiligne des pluies presque perpétuelles ; viendrait ensuite une courbe dont les deux

branches partant des points de l'équateur, représentés par les mois de printemps et d'automne, convergeraient vers le tropique aux mois d'été, et tout l'intérieur de cet arc étant ombré, exprimerait les pluies semestrielles dégénérant en pluies trimestrielles vers le sommet de la courbe. Enfin, concentriquement à la précédente, se trouverait une seconde courbe dont les branches prenant naissance au nord du tropique, sur les points figurés par les mois d'hiver pour les latitudes de l'Algérie, passeraient ensuite par les points représentés par les mois de printemps et d'automne dans les latitudes du midi de l'Europe et deviendraient, sous les parallèles pluvieux durant les mois d'été, une perpendiculaire à l'équateur, allongée depuis la latitude de Paris jusqu'au pôle nord.

Cette manière d'exprimer les résultats sommaires des observations écarte naturellement les perturbations locales sur lesquelles nous ne voulons pas insister ici, parce qu'elles feront l'objet d'un travail très-étendu qui nous occupe depuis plusieurs années; mais elle a l'avantage de mettre en évidence un phénomène très-remarquable, savoir celui de la transition brusque qui se manifeste entre les zones des pluies trimestrielles des tropiques et celle des pluies trimestrielles des saisons opposés de la zone subtropicale de M. de Buch. Or, un saut de ce genre n'étant pas en harmonie avec les lois de continuité ordinaires de la nature, j'ai dû chercher les causes de cette anomalie, et j'ai vu qu'elle s'efface devant l'observation qui nous fait découvrir que les deux zones précédentes, loin d'être en contact immédiat, sont au contraire profondément disjointes par des bandes à sécheresse absolue, au moins dans la partie du globe qui constitue le domaine des alisés dont nous allons nous occuper en premier lieu; nous examinerons ensuite les faits propres aux régions assujetties au règne alternatif des moussons.

L'Afrique offre une démonstration très-manifeste de cette circonstance. Dans la partie septentrionale de ce continent, la bande à sécheresse absolue est représentée par le Sahara que l'on peut considérer comme se prolongeant sans interruption depuis l'Atlantique jusqu'à la mer Rouge, avec une largeur que le tropique divise en deux parties à peu près égales. D'après cette manière de voir, dans laquelle on confond, sous un nom collectif, le Sahara proprement dit, le désert Lybique, les deux déserts de la Nubie et ceux de l'Égypte, les dentelures de la bande arriveraient jusqu'au 15ᵉ degré de latitude nord, en contournant les ramifications des chaînes centrales du continent; tandis que du côté opposé, borné sur une partie de son étendue par les masses de l'Atlas, il enverrait néanmoins à la Méditerranée, jusque sous le 13ᵉ degré nord, des branches par les parties basses de l'Égypte et par la plaine salée de la Syrte. M. de Humboldt attribue à sa surface, abstraction faite du Darfour et du Dongolah, une étendue de

194 000 lieues carrées de 20 degrés, ce qui serait plus que double de celle de la Méditerranée, qui est de 77 300 lieues carrées; cependant il ne faut pas croire que toute cette immense largeur appartienne en propre à la *Mer-sans-eau* (Sahara-bela-mâ des Arabes), ni qu'elle soit dans un état de sécheresse absolue, bien que les climats les plus ardents soient situés sous le tropique du Cancer et jusqu'à 4 ou 5 degrés au nord. La vraie physionomie du désert ne s'établit que progressivement, de part et d'autre, par la diminution de la végétation; celle-ci, à mesure que les pluies deviennent plus rares, dégénère de l'état de forêts à celui de broussailles, puis à celui de steppes, que remplacent finalement les sables, les cailloux ou les rochers nus des parties centrales les plus voisines du tropique.

C'est ainsi que dans la partie occidentale, à Timbouctou (lat. 17°50′ nord), les pluies, si abondantes vers la zone équatoriale, deviennent déjà rares, et le sol est pauvre; à El-Araouân (lat. 20 degrés nord), les pluies sont encore moindres, et déjà ici, quelle que soit la distance à laquelle la vue puisse porter, on ne voit plus guère de traces de verdure; peu après viennent l'horizon sans bornes du grand désert, son ciel de feu, ses roches, ses dunes et les parties mobiles de sa surface dans laquelle les vents creusent des vallons en soulevant des trombes de sable dont la chute est la seule image des averses. A la limite nord de cette immense terre de désolation, apparaissent d'abord çà et là des espaces couverts de plantes, près de El-Arib (lat. 28 nord); ils deviennent déjà assez nombreux sous l'influence de quelques pluies hyémales, et celles-ci sont encore peu abondantes dans les steppes du Beled-el-Djerid (pays des Dattes) où cependant les wadis (vallées à torrents temporaires) et le voisinage de l'Atlas mettent un terme à ces sécheresses. Aussi n'y a-t-il plus là de désert proprement dit, et qui oserait donner ce nom à un pays dont une seule des tribus, celle de l'Arbâa, compte jusqu'à quarante mille âmes! Dans le temps de la splendeur des califes, ce Beled-el-Djerid était d'une grande importance à cause de ses châteaux, de ses forteresses, de ses villes, de ses jardins, de ses forêts de palmiers, de son commerce et de son activité; de nos jours, Aïn-Modhy a pu résister à la puissance et à la ténacité d'Abd-el-Kader; tout cela suppose nécessairement une population nombreuse, par conséquent aussi un climat favorable, et il en est résulté que l'extension de nos conquêtes vers le sud de l'Algérie nous a constamment fait découvrir des terrains productifs, car jusqu'à présent nous n'avons guère dépassé le 35e degré nord qui est encore fort éloigné de la partie à laquelle on devra réserver le nom de désert.

Le littoral de l'Atlantique n'est pas complétement à l'abri de la nullité des pluies du système mitoyen qui vient d'être défini: autour du cap Barbas, depuis le 22e degré au 21e degré nord, il se

passe quelquefois deux années consécutives sans qu'il en tombe la moindre trace, et ce régime s'étend sur les îles du cap Vert qui en sont même quelquefois privées pendant l'espace de sept à huit années.

A l'est, entre le Nil et la mer Rouge, s'étend la chaîne du Mokattam que l'on peut considérer comme étant la ligne de disjonction des moussons asiatiques et des alisés; sur celle-ci, en vertu des sommités et du phénomène des moussons, il y a des pluies d'hiver aussi fortes et fréquentes que dans la Palestine; elles font gonfler à pleins bords les torrents de la montagne; mais ce résultat ne doit pas être considéré comme étant de nature à effacer la loi générale, car immédiatement à côté de Qôceyr (lat. 26°7' nord), à un ciel constamment pur, aucune maison n'y possède de citerne, et pourtant la première source est éloignée à une journée de marche. Sur le versant opposé à la mer Rouge, Thèbes (lat. 25°43' nord) ne reçoit de la pluie que durant un petit nombre de jours de l'année, puis elle cesse dans la haute Égypte pour renaître dans le Dongolah sous le 20e degré nord où elle devient estivale. Aussi on perd là en même temps et le sol aride, et les rochers nus, et le ciel sans nuages de la haute Égypte ou de la basse Nubie; cependant l'intermittence pluviale est encore prononcée dans le Dongolah; suivant les uns, c'est Gerry sous les 16°15' nord, et suivant d'autres, c'est le 17e degré nord que l'on doit considérer comme la véritable limite des pluies régulières intertropicales de cette partie du continent.

Diverses oasis ou dépressions du sol ayant quelquefois des attitudes négatives (l'oasis de Siwah est à 31 mètres sous la mer) sont semées çà et là au milieu des sables et elles doivent leur fertilité aux sources. Parmi celles-ci, il en est une qui doit fixer l'attention d'une manière toute spéciale parce qu'elle forme une sorte de diaphragme divisant pour ainsi dire le Sahara en deux parties égales et qu'elle sert de grande route aux caravanes du Fezzan, vers le centre de l'Afrique. Aux époques de l'année où la température s'abaisse, c'est-à-dire depuis octobre jusqu'en février, celles du nord, de l'est et de l'ouest se réunissent à Mourzouck; elles emploient cinquante-sept journées de marche pour parvenir jusqu'à Birney (capitale du Bornou, à l'ouest du lac Tchad, sous le 16e degré de latitude nord), en suivant une chaîne de rochers plus ou moins abruptes qui encaissent une sorte de longue vallée (wadi kawas) dans laquelle elles trouvent de nombreuses stations, et par conséquent aussi ce sous-sol aquifère sans lequel la pérégrination serait impossible. Cette ligne n'est entrecoupée que çà et là par des terres salées et par le désert sableux de Timtuma; il n'est donc pas étonnant qu'elle ait servi de base au commerce et à la puissance carthaginoise en Afrique, et que les Anglais aient cherché à s'assurer de son exploitation par

leur alliance avec le pacha de Tripoli. Du côté de l'Algérie, la route de Timbouctou, par l'oasis de Touat, est beaucoup moins commode; les stations sont encore plus rares sur celles du Tafilelt à la même ville; il résulte, en outre, des renseignements obtenus par le consul Jackson, que les oasis y sont sujettes à perdre leurs sources; fait que confirme le terrible exemple de 1805, époque à laquelle une caravane de deux mille personnes et de dix-huit cents chameaux périt en entier pour avoir compté sur ces eaux souterraines.

Mais cette digression ne doit pas nous faire oublier notre objet capital. Les montagnes de cette partie médiane du Sahara ne paraissent pas exercer une influence bien sensible sur le phénomène des pluies. Ainsi, dans celles qui sont à l'ouest de Mourzouck, elles sont tellement irrégulières qu'il s'écoule quelquefois neuf années sans qu'elles se renouvellent; la contrée raboteuse et brisée de l'Haroudje présente seule des vallées brillantes de verdure à cause de la fréquence des pluies, mais il ne faut pas perdre de vue qu'elle est déjà reculée vers le 27e degré nord. Du reste, suivant quelques voyageurs, la pluie est inconnue à Mourzouck même (latit. 25°54′ nord), et en somme, la petite quantité d'eau qui tombe dans l'ensemble du Fezzan est tellement sujette à intermittence, que l'on ne peut pas compter sur elle pour la culture des terres. Quelques hortolages et le blé ne s'obtiennent en décembre et en janvier qu'à l'aide des sources: encore le capitaine Lyon n'en vit-il que trois arrivant à la surface; les autres ne se trouvent qu'au fond de puits creusés à la profondeur de 3 à 7 mètres. L'oasis du Fezzan ne présente donc autre chose qu'une plaine généralement sablonneuse, stérile, dépourvue de tout ruisseau digne de remarque, et cette physionomie se soutient jusqu'à Tegerry (lat. 24°4′ nord), où se trouvent à la fois les limites sud du dattier et nord du palmier Doum (*Cucifera thebaica*), et où commence aussi la bande rocheuse décrite précédemment.

A côté de ces faits relatifs au Sahara, rangeons maintenant ceux de l'hémisphère opposé.

La partie subtropicale de l'Afrique méridionale nous présente, entre les hautes régions du centre de ce continent et les montagnes du cap de Bonne-Espérance, une autre suite de déserts placés dans une position symétrique par rapport au Sahara. En effet, le littoral de la Cimbasie, au nord de la rivière d'Orange, jusque vers le 19e degré sud, n'a montré à l'expédition anglaise qui, en 1824, fut chargée d'y découvrir un lieu d'exportation, aucun endroit susceptible de culture et qui ne fût pas trop affreux même pour des criminels. Les petites traces d'une verdure très-clairsemée, la saveur saumâtre de l'eau des rivières et l'extrême rareté de tout autre, n'indiquent que trop l'absence des pluies sur cette terre inhospitalière. Dans l'intérieur, entre le pays des Namaquois

et celui des Dambarras, quelques montagnes et cours d'eau constituant des oasis brisent pour un moment cette solitude, viennent ensuite dans la partie centrale des *terra incognita* pour la météorologie positive, où l'on indique néanmoins les déserts à perte de vue de Tschallahenga et de Kalahari, formant en quelque sorte le prolongement septentrional des plateaux argilo-ochracés des Karroo, espèces de steppes dont le sol durcit pendant les neuf mois de sécheresse de leur latitude. Ils sont interceptés encore une fois à l'approche du littoral océanique, par l'extension des montagnes de la Cafrerie, vers le Monomotapa; mais sur le revers oriental de celle-ci, gisent les plaines basses de l'Imhambane et du Sofala, et là, non-seulement il pleut aussi peu que dans la basse Égypte, même les habitants du Rio de l'Agoa n'ont jamais vu tomber mais de pluie.

Dans ce continent, les phénomènes sont donc identiques de part et d'autre de l'équateur, les causes premières sont par conséquent les mêmes; aussi convient-il de nous arrêter un moment pour jeter un coup-d'œil sur la configuration générale. A un contour sans articulations, sans dentelures notables, il réunit une structure interne fort simple; car d'après les observations de M. Rusegger, l'ensemble du sol y affecte une pente ascendante très-douce depuis le nord jusque dans les plaines du Kordofan qui, quoique séparées par un intervalle de 18 degrés de latitude des rives les plus voisines de la Méditerranée, n'ont guère qu'une altitude de 376 mètres autour de El-Obheïd (lat. 13°12′ nord). Cette inclinaison devient sensiblement plus rapide à partir du 16e degré jusqu'au 13e degré nord, mais sans former ni terrasses, ni autres escarpements; et le plan de pente continuant dans le même sens jusqu'au 10e degré nord, où il atteint 500 à 650 mètres d'élévation, offre alors une vaste plaine parsemée de crêtes montagneuses, allongées dans différentes directions, sans liaison les unes avec les autres, et simulant de grandes îles disséminées à la surface de l'Océan. Mais au sud du Darfour et du Kordofan, dans le pays des Gallas, des Dingas-Schillucks et des Fungis, ces aspérités cessent, et quelque loin que la vue puisse porter au delà, on ne découvre plus autre chose que quelques mamelons épars, disséminés au milieu de l'immense uniformité des savanes, qui ont commencé vers le 16e degré nord avec le régime des pluies périodiques du tropique. Depuis le 9e degré nord, nos connaissances sur l'Afrique centrale et méridionale permettent seulement de supposer que sur cette partie le plateau continue à s'élever au loin jusqu'à l'altitude de 1 900 mètres et qu'ensuite il s'abaisse rapidement et par gradins du côté du cap, en sorte qu'en somme on ne saurait jusqu'à présent trouver sur l'axe longitudinal de ce plan incliné du sud au nord, aucune chaîne suivie et comparable à celles de l'Amérique, de l'Asie ou même des Alpes.

Aux deux extrémités opposées de ce continent s'élèvent, d'une part, le massif méditerranéen de l'Atlas atteignant la hauteur des neiges perpétuelles dans le Maroc, et s'abaissant insensiblement à l'est vers le plateau de Barkah, et, d'autre part, les montagnes du cap de Bonne-Espérance et les Smwbergen du nord du Camdebo, aussi hautes peut-être, mais, dans tous les cas, froides et placées sous le 30ᵉ degré sud, de même que les précédentes se trouvent sous le 30ᵉ degré nord.

De ces masses terminales émanent en quelque sorte les chaînes et les terrasses côtières de l'est et de l'ouest du continent. La première s'étend depuis le pays des Cafres, par le Monomotapa, la Mozambique, le Zanguebar, jusque dans le pays des Gallas, dominé par le surexhaussement de 3 000 à 4 500 mètres de l'Abyssinie, après quoi elle se termine vers la Méditerranée par les chaînons interrompus du Mokattam.

La bande des aspérités occidentales forme de même, en regard de l'Abyssinie, les montagnes des haute et basse Guinée, le grand massif des sources du Niger de la Gambie, du Sénégal, ainsi que le prolongement de ces rameaux sur les bords du Sahara. D'après Mollien, l'altitude de quelques-unes des cimes y serait telle, qu'elles atteindraient aussi la limite des neiges perpétuelles; et quant à celles de l'Abyssinie, on sait, d'une manière plus positive, qu'elles sont établies à la même élévation que sur les nevadas du Mexique.

Il résulte donc de la disposition du plan de pente général de ce continent, combinée avec celle des fractures et des rides côtières, une sorte d'immense vallée centrale, qui commençant vers la pointe sud de l'Afrique, s'évaserait au nord dans la large plaine basse du Sahara; mais, dans cet ensemble, les altitudes ne paraissent guère être telles qu'elles puissent jouer un rôle autre que celui d'un épanouissement dans le régime des pluies; la forme de plateau peut se concilier avec la physionomie des déserts : les deux intumescences de l'est ou de l'ouest pourraient seules occasionner des perturbations majeures; mais leur opposition sur des parallèles très-voisins de l'équateur est telle, qu'en favorisant l'affluence atmosphérique des deux pôles hétéronymes, elles ne font que contribuer à l'établissement des alisés et, par suite, à la symétrie des zones sans pluie et des déserts.

La structure du nouveau monde diffère notablement de la précédente; les formes essentielles ne s'y coordonnent plus, ni parallèlement ni symétriquement par rapport à l'équateur: l'alignement des massifs principaux y est même tourné à angle droit; aussi les phénomènes météorologiques ne seront plus partout identiques.

En effet, aux protubérances est et ouest de l'Afrique, situées dans le voisinage de l'équateur, se substitue la vaste dépression

des bassins de l'Amazone et de l'Orénoque, dont l'entrée aux vents d'est est défendue sur une certaine étendue par deux massifs opposés : l'un, la cordilière de Parime ou des Guyanes, est compris entre l'Orénoque, l'Amazone et l'embouchure du Méta; il se compose d'un amas de montagnes parmi lesquelles le cerro de Duida atteint presque la hauteur du Saint-Gothard; l'autre forme des serras de Amanbahy, de Mar, de Montequerra, des Vertentes, de Epinhaço, etc., etc., qui couvrent une partie de l'Uruguay, de l'Entre-Rios, du Corrientes, du Paraguay et du Brésil; il comprend, depuis l'embouchure de la Plata jusqu'au cap San-Roque, une étendue de 30 degrés de latitude. Ce vaste plateau, d'une hauteur moyenne de 800 mètres, sur lequel s'élèvent des chaînes aux formes hardies et élancées, dont les croupes ont jusqu'à 1 945 mètres d'altitude, présente, comme accident le plus caractéristique, la bande montagneuse qui s'étend depuis Rio-Janeiro jusque vers Pernambuco. Elle domine le littoral atlantique avec une altitude moyenne de 1 000 mètres, et renferme en même temps les hautes cimes d'Itacolumi, d'Itambe, du Morro; en sorte que si elle constitue entre les 23e et 10e degrés sud une barrière analogue à celles des Guyanes, elle en diffère aussi dans un autre sens, en ce qu'elle ne se rapproche pas à plus de 10 degrés sud de l'équateur, tandis que l'autre y aboutit.

Il résulte donc de l'opposition de ces deux chaînes côtières que l'axe mitoyen, le plus vaste des bassins de l'Amérique méridionale, de celui qui seul traverse presque en entier ce continent dans une direction parallèle à l'équateur, se trouve pour ainsi dire refoulé vers le 5e degré latitude sud, et que la largeur de son entrée du côté de l'Atlantique est comprise entre 0 et 10 degrés de latitude sud.

Ces massifs s'abaissent vers l'intérieur et se perdent, l'un dans les llanos de l'Orénoque, et l'autre vers les campos Pariecys, ainsi que dans les vastes plaines de Moxos et Chiquitos, où il constitue, sous les 16e et 18e degrés sud, un simple seuil sur lequel on pourrait réunir artificiellement le Paraguay à l'Amazone par l'intermédiaire du Madeira; tout comme de l'autre côté, sous les 2e et 3e degrés nord, la communication avec l'Orénoque est effectuée par la nature à l'aide du Rio-Negro et du Cassiquiare : de là un grand système de dépression oscillant, d'après M. de Humboldt, entre 60 et 330 mètres d'altitude, et qui s'étendent depuis la cordilière du littoral de Venezuela jusqu'au détroit de Magellan, en formant une aire de 456 900 lieues carrées. Il comprend les savanes, les llanos, les pampas et les steppes de l'Orénoque, de l'Amazone, de la Plata et de la Patagonie, qui conservent, sur des longueurs de vingt à trente journées de route, une uniformité imposante et lugubre, comme celle d'une mer immobilisée sous le poids des algues et des warechs; les palmiers croissent à l'une de

leurs extrémités, tandis qu'à l'autre le sol est gelé; enfin, de distance en distance, cette monotonie est brisée par des lagunes, des sables et par la masse des forêts vierges, au milieu desquelles on découvre d'immenses îlots de roche nue, s'élevant à peine de quelques centimètres au-dessus du reste de la plaine. Ajoutons maintenant qu'au golfe profond du Mexique, placé entre les 10e et 30e degrés de latitude boréale, se substituent dans l'hémisphère opposé le large évasement et les montagnes du Brésil; qu'à la grande étendue transversale de l'Amérique du Nord correspond l'amaigrissement des formes vers le pôle austral; puis, comme dernier caractère de dissymétrie, signalons la disposition de la cordilière royale des neiges. Entre elle et l'océan Pacifique, le rapprochement est tel, qu'à peine reste-t-il un espace suffisant pour faire mériter le nom de plaines à celles qui s'étalent sur son versant occidental. A sa bizarre fissuration dans l'Amérique méridionale se substitue un plateau uniforme dans le Mexique; des grandes routes y passent à des altitudes plus considérables que celle du sommet du mont Blanc; des villes populeuses y sont établies au niveau du col du Géant et du mont Saint-Bernard; et enfin les cimes principales y dépassent le tout de 1 000 jusqu'à 2 000 mètres; en sorte que même, à priori, ces immenses hauteurs, avec leur allongement du nord au sud, paraissent déjà devoir faire pivoter à angle droit le système météorologique qui, en Afrique, se coordonne dans le sens de l'équateur. Aussi devient-il d'un haut intérêt d'examiner les perturbations qu'une pareille discordance peut provoquer dans la régularité des grands phénomènes atmosphériques, de s'assurer jusqu'à quel point les effets de l'action solaire pure et simple seront modifiés par les circonstances orographiques; et si nous trouvons encore quelque trace de symétrie dans la position des déserts, il faudra reconnaître dans cette trace l'influence d'une cause bien énergique, puisqu'elle aura pu subsister au milieu de tant de causes d'anomalies : elle nous fournira ainsi la meilleure preuve de la loi dont nous cherchons à établir l'existence.

Aux latitudes du Sahara, sur le littoral du grand Océan, les terres basses de la Vieille-Californie sont privées de pluies; les montagnes qui constituent l'épine dorsale de cette presqu'île en reçoivent seules une petite quantité, et la végétation y est aussi pauvre que l'eau y est rare; en sorte que, sous ce rapport, la similitude entre cette partie de l'Amérique et la région correspondante de l'Afrique ne saurait être plus complète. Cependant quelques phénomènes spéciaux semblent caractériser ces parages; car l'atmosphère, presque constamment limpide, y est habituellement d'un bleu foncé; mais, quand quelques nuages s'établissent au moment du coucher du soleil, ils se montrent ornés des plus belles nuances de vert, de pourpre, de violet, et la scène devient alors d'une beauté extraordinaire. Si nous ajoutons mainte-

nant que le fait des pluies, par un ciel serein, est assez fréquent sur le golfe de Californie, on verra évidemment qu'il y a là une série d'effets dérivés d'un état particulier de la vapeur aqueuse dissoute dans l'air, et dont le rapprochement doit déterminer les navigateurs à faire quelques observations plus précises qui ne seront certes pas dépourvues d'intérêt.

A l'est de la basse Californie, et après la solution de continuité de la mer Vermeille, s'élève le vaste plateau ondulé du Mexique, qui s'abaisse rapidement du côté opposé vers le bolson de Mapimi, la province de Cohahuila et le Texas, auxquelles succèdent les terres basses de la Nouvelle-Orléans et des Florides, baignées par les eaux chaudes du golfe mexicain. Ces variétés de configuration doivent nécessairement entraîner des variations brusques dans les climats; celles-ci affectent la transition des pluies hémi-annuelles d'été à celles d'hiver; de telle sorte qu'il faut une certaine attention pour suivre les engrenages de ces régimes divers, et voici les complications dont l'observation a fait reconnaître l'existence.

D'après les renseignements qui viennent de m'être communiqués par M. Duport Saint-Clair, le district de Cinaloa, situé en face de la Vieille-Californie, possède des pluies estivales qui se raréfient vers le nord dans la Sonora, où elles deviennent très-faibles et très-irrégulières. Au delà de Guaimas, vers le 28e degré nord, une semaine se passe souvent sans qu'il tombe autre chose qu'une ondée assez légère; mais cette saison se prolonge jusqu'en décembre, où il tombe une ou deux de ces averses tropicales qui font déborder les rivières, et dès lors ces pluies cessent complétement jusqu'en juin : aussi dans la Sonora, entre les 27e et 32e degrés nord, l'air passe pour être généralement sain et salubre, excepté sur le littoral; et plus loin, vers le nord, on tombe dans les brumes et dans les pluies irrégulières de Monterey, dans la Nouvelle-Californie.

Sur le plateau du Nouveau-Mexique, sous les mêmes latitudes que la Perse centrale et la Syrie, les froids deviennent très-intenses; on a même vu tomber quelquefois des neiges jusqu'à Mexico, à la latitude de 19°25', et à la hauteur de 2 277 mètres; cependant cette circonstance n'oblitère pas le régime des pluies intertropicales d'été, mais il se complique encore de celui des pluies subtropicales de l'hiver. Ainsi, à Guadalupe-y-Calvo (lat. 26°5' nord), indépendamment des pluies estivales trimestrielles de juin, juillet et août, qui règnent à Mexico, on a une reprise depuis octobre jusqu'en janvier, durant laquelle il tombe deux ou trois fois par an des chutes d'eau très-froides, soutenues pendant quelques jours, et auxquelles les habitants du pays donnent le nom d'*equiparte*. On voit donc ici la reproduction du phénomène de la Sonora; en sorte que le hiatus du Sahara manque

dans ce pays, et que, en définitive, la météorologie se trouve avoir acquis la connaissance des divers modes de transition d'un climat à l'autre qui lui manquait encore naguère. Mais ces pluies n'effacent pas complétement les sécheresses; car, d'après M. de Humboldt, elles sont effrayantes dans une partie de cette région, où l'on trouve d'ailleurs, comme échantillon d'un désert, la plaine aride et sans eau du Muerto, dont l'étendue est d'une trentaine de lieues: les rosées, si abondantes dans la Sonora, manquent pour ainsi dire complétement sur ces hauteurs. A Chiahuahua, sous le 25e degré nord, les saisons sont encore moins marquées avec des pluies sans régularité, et pourtant l'atmosphère est tellement dépourvue de vapeur aqueuse, que durant la nuit, au bivac, il suffit de toucher les couvertures pour en faire jaillir des étincelles électriques, et l'on peut charger de cette manière une bouteille de Leyde.

Sur le versant oriental, Xalappa (lat. 20 degrés nord), à la hauteur des tierras templadas (terres tempérées), se trouve souvent entourée de brumes, avec des pluies fréquentes en toutes saisons; mais de Stander à Monterey, du 23e au 26e degré, et sur les bords du Rio-Bravo-del-Norte jusqu'au Texas, on trouve immédiatement, comme en Algérie, les pluies d'hiver caractérisées par de petites neiges et par le vent du nord. Dans ce dernier pays, où s'étendent de vastes savanes, elles sont accompagnées par d'affreux orages, tandis que, dans les premiers, il y a quelques pluies d'été : il en résulte encore des transitions analogues aux précédentes; mais les eaux chaudes du golfe, ainsi que le littoral atlantique, viennent bientôt exalter les diverses causes d'anomalies; car la Nouvelle-Orléans, sous la latitude 29°27′, voit tomber des pluies toute l'année, quoique les plus fortes soient celles d'été; tandis que Heywest, la ville la plus méridionale des États-Unis vers le 25e degré nord, possède, comme le midi de la France, des pluies de printemps et d'automne entremêlées de celles de toutes les saisons.

En résumé, la bande des sécheresses et des déserts n'est indiquée dans cette partie de l'hémisphère boréal que par les stations de la basse Californie, à partir desquelles elle se trouve d'abord effacée par la soudure des pluies estivales aux pluies hivernales, puis oblitérée complétement sur le bord du golfe du Mexique; mais il suffit, pour la régularité de la loi, qu'elle soit prononcée en quelques points, et l'on ne doit voir dans les perturbations autre chose que l'influence de la configuration et du relief du sol dont nous cherchons aussi à apprécier le rôle.

La partie méridionale du nouveau monde va d'ailleurs présenter d'autres exemples des mêmes circonstances.

(La suite au numéro prochain.)

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES. — MARS 1844.

JOURS.	9 HEURES DU MATIN.			MIDI.			3 HEURES DU SOIR.			9 HEURES DU SOIR.			THERMOMÈTR.		ÉTAT DU CIEL À MIDI.	VENTS à MIDI.
	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Maxim.	Minim.		
1	745,26	+10,6		746,81	+11,0		748,28	+10.3		749,54	+ 7,3		+12,1	+ 4,9	Très-nuageux........	O.
2	750,04	+ 9,2		750,47	+10,4		750,29	+10,8		750,01	+ 6,4		+11,4	+ 6,0	Beau................	S. O.
3	749,45	+ 9,3		749,35	+10,8		748,96	+11,0		749,68	+ 7,7		+12,1	+ 6,8	Très-nuageux.........	S. O. fort.
4	742,98	+ 6,4		739,71	+ 8,9		739,21	+ 7.7		746,96	+ 4,9		+11,0	+ 6,3	Couvert	O. S. O.
5	751,90	+ 4,7		752,56	+ 5,4		752,71	+ 6,1		752,66	+ 3,2		+ 6,9	+ 3,1	Couvert..............	O.
6	749,18	+ 2,2		748,84	+ 5,2		748,63	+ 5,4		752,82	+ 1,5		+ 6,8	+ 1,0	Couvert..............	E.
7	756,82	+ 2,4		757,73	+ 5,2		757,90	+ 6,1		760,21	+ 2,0		+ 6,7	+ 1,0	Couvert..............	N. E.
8	762,33	+ 1,2		762,94	+ 2,1		763,52	+ 3,2		764,84	+ 1,2		+ 3,5	— 0,5	Beau..................	N. E.
9	764,47	+ 5,0		763,34	+ 6,6		761,75	+ 7,4		760,70	+ 7,2		+ 8,0	— 2,9	Beau..................	S. O.
10	754,47	+ 7,2		751,37	+ 8,9		750,47	+10,0		759,34	+ 4,9		+11,9	+ 6,4	Couvert	S. O. tr.-fort
11	758,31	+ 5,0		755,15	+ 6,1		751.90	+ 8,6		748,89	+ 8,6		+10,2	+ 1,0	Pluie continuelle......	S. O. fort.
12	748,88	+ 7,0		748,33	+ 8,1		747,13	+ 7,0		749,01	+ 5,7		+ 8,9	+ 5,8	Quelques éclaircies...	O. fort.
13	756,61	+ 4,9		756,87	+ 6,5		757,33	+ 3,7		757,93	+ 2,2		+ 7,3	+ 2,5	Nuageux	N. O. fort.
14	756,89	+ 4,5		756,03	+ 7,8		754,66	+ 8,1		753.16	+ 5,8		+ 8,4	+ 1,2	Couvert	O.
15	749,48	+ 7,7		748,57	+10,0		747,83	+10,0		746,96	+ 5,4		+10,3	+ 4,2	Couvert...............	S. S. O.
16	745,09	+ 9,8		744,71	+12,4		744,38	+13,8		746,14	+10.0		+15,0	+ 3,8	Quelques nuages......	S. E.
17	748,36	+ 9,8		749,63	+11,0		749,27	+10,6		750,99	+ 9,4		+11,7	+ 7,0	Couvert	E.
18	751,34	+ 4,6		751,14	+ 8,2		750,74	+10,3		753,51	+ 4,0		+10,7	+ 4,0	Couvert.	N. N. E.
19	757,51	+ 2,8		757,87	+ 3,8		757,67	+ 4,5		757,52	+ 3,5		+ 5,1	+ 2,0	Couvert...............	N. N. E.
20	751,04	+ 4,6		748,86	+ 5,7		746,18	+ 6,4		747,61	+ 3,1		+ 8,4	+ 1,7	Couvert...............	S. O.
21	757,05	+ 2,0		757,54	+ 4,4		756,96	+ 5,5		758,13	+ 2,1		+ 6,2	— 0,9	Nuageux...............	N. N. O.
22	755,25	+ 4,9		753,84	+ 7,2		751,58	+ 7,8		749,32	+ 5,1		+ 9,0	— 0,9	Nuageux...............	S. S. O.
23	748,23	+ 3,9		748.33	+ 6,6		748,47	+ 7,8		749,73	+ 4,9		+ 8,0	+ 3,0	Couvert.	S. S. O.
24	751,61	+ 6,1		751,75	+ 9,5		750,95	+10,2		751,12	+ 8,4		+11,0	0,0	Quelques éclaircies...	S.
25	751,68	+ 8,6		751,14	+10,6		750,33	+11,4		749,06	+10,9		+12,7	+ 8,0	Couvert...............	S. S. O.
26	750,95	+ 9,8		751,44	+10,9		752,60	+11,1		755.34	+ 9,3		+12,0	+ 9,0	Couvert	O. N. O.
27	756,99	+10,1		758,42	+12,0		758.67	+12,4		760,39	+10,4		+12,6	+ 8,2	Couvert...............	O. N. O.
28	762,06	+10,5		763,22	+10,8		763,85	+11,7		766,18	+10,0		+12,8	+ 9,8	Couvert	O.
29	769,44	+ 9,3		768,00	+11,0		766,60	+13,0		765,81	+ 8,8		+13.9	+ 6,2	Nuageux	N. E.
30	762,77	+ 6,6		762,56	+ 8,8		761,89	+11.2		762,47	+ 8,0		+12.1	+ 3,7	Beau..................	E. N. E. fort.
31	762,12	+ 9,4		761,62	+13,4		760,84	+14,8		761,13	+12,6		+15,7	+ 3,7	Beau..................	E. S. E.
1	752,69	+ 5,8		752,31	+ 7,5		752,17	+ 7,8		754,68	+ 4,6		+ 9,0	+ 3,2	... Moy. du 1er au 10	Pluie en cent.
2	752,35	+ 6,1		751,72	+ 8,0		750,71	+ 8,3		751,17	+ 5,8		+ 9,6	+ 3,3	... Moy. du 11 au 20	Cour. 4,597
3	757,10	+ 7,4		757,03	+ 9,6		756,61	+10,6		757,15	+ 8,2		+11,6	+ 4,5	... Moy. du 21 au 31	Terr. 4,008
	754,15	+ 6,5		753,81	+ 8,4		753,28	+ 9,0		754,42	+ 6,3		+10,1	+ 3,7	... Moyenne du mois....... + 6,9	

RECHERCHES SUR LA COMPOSITION CHIMIQUE DU THÉ;

PAR M. EUGÈNE PÉLIGOT.

(Mémoire lu à l'Académie des Sciences, le 17 juillet 1843.)

Je me propose d'entretenir l'Académie de quelques expériences que j'ai faites sur le *thé*.

Lorsqu'on réfléchit à l'influence que cette feuille exerce sur les relations extérieures et sur l'alimentation de plusieurs grands peuples, on a lieu d'être surpris de l'insuffisance et du petit nombre des travaux qu'on a entrepris dans le but de rechercher jusqu'à quel point sa composition chimique explique et justifie une consommation toujours croissante, déjà si grande et si universelle.

Les analyses de Frank, de Brande, de M. Mulder, et celles toutes récentes de M. Steinhouse, qui, seuls, parmi les chimistes, se sont occupés du thé, laissant encore beaucoup à désirer, j'ai dû mettre à profit la proposition que m'a faite un négociant, M. Houssaye, de me fournir des échantillons variés et authentiques de thés pour les soumettre à l'analyse; j'ai pu, grâce à cette circonstance, opérer sur toutes les sortes de thés noirs et de thés verts qu'on trouve dans le commerce tant en France qu'en Angleterre.

Frank est le premier chimiste qui ait publié une analyse quantitative du thé. Cette analyse est trop imparfaite pour qu'il soit utile de la rapporter ici; il suffira de rappeler que ce chimiste, ayant pris pour du tanin tout ce que l'alcool peut dissoudre quand on met ce liquide en contact avec le thé, a été conduit à admettre l'existence de 34,6 de tanin pour 100 dans le thé vert, et de 40,6 dans le thé noir, tandis que H. Davy n'a trouvé, dans le premier, que 8,5 de tanin, et 10 dans le second, ces quantités étant seulement absorbées par les membranes qu'on laisse sé-

journer dans l'extrait aqueux du thé. Si les nombres de Frank sont trop forts, ceux de Davy sont probablement trop faibles; car il paraît résulter des expériences récentes de M. Guibourt, que les membranes n'absorbent pas le tanin aussi complétement qu'on le supposait.

Outre le tanin, on sait que le thé contient deux autres principes dignes d'une mention spéciale, qui sont : 1° une huile essentielle à laquelle il doit son arome et qui exerce une grande influence sur son prix commercial; diverses sortes de thé chinois contiennent, sans aucun doute, outre l'huile essentielle qui préexiste dans la feuille naturelle, d'autres principes odorants empruntés à l'*Olea fragrans*, à *la fleur d'oranger*, etc. Ces huiles, qu'on peut isoler en distillant le thé avec de l'eau, sont, dans tous les cas, en trop petite quantité pour qu'il soit possible d'en déterminer avec exactitude la nature et la proportion.

2°. Une matière azotée, la théine, qui a été signalée pour la première fois dans le thé, il y a une douzaine d'années, par M. Oudry : on sait que ce corps est identique avec la substance découverte, en 1820, dans le café par Runge, *la caféine*, et aussi avec celle que M. Th. Martius a extraite du guarana, médicament fort recherché des Brésiliens. Il est remarquable de rencontrer la théine dans les deux substances alimentaires qu'on emploie dans les conditions les plus pareilles, dans le thé et dans le café, qu'on peut considérer comme à peu près équivalents par leurs usages et par leur action sur notre économie.

Pour résumer d'ailleurs l'état de nos connaissances actuelles sur le thé, je crois utile de rapporter ici l'analyse complète du thé noir et du thé vert faite par M. Mulder.

D'après ce chimiste, 100 parties de thé de Chine renferment :

	Thé vert.	Thé noir.
Huile essentielle...............	0,79	0,60
Chlorophille..................	2,22	1,84
Cire..........................	0,28	"

	Thé vert.	Thé noir.
Résine	2,22	3,64
Gomme	8,58	7,28
Tanin	17,80	12,88
Théine	0,43	0,46
Matière extractive	22,80	19,88
Matière foncée	"	1,48
Matière colorante du thé séparée par l'acide chlorhydrique	23,60	19,12
Albumine	3,00	2,80
Fibre	17,08	28,32
Cendres	5,56	5,24

Ainsi, d'après M. Mulder, il existe dans le thé 13 substances distinctes au moins; cette feuille contiendrait, d'après ce chimiste, un peu moins de $\frac{1}{2}$ pour 100 de théine.

La quantité de cette dernière substance a été tout récemment déterminée par M. le docteur Steinhouse, au moyen d'un procédé qui diffère beaucoup de celui qu'a employé M. Mulder.

M. Steinhouse a trouvé dans 100 parties des thés suivants :

Hyson (vert)	1,05 de théine.
Congo (thé noir)	1,02
Assam (thé noir)	1,27
Tonkay ord. (vert)	0,98

c'est-à-dire une quantité double, quoique fort petite encore, de celle qui a été constatée par M. Mulder.

Comme rien n'est plus important, pour l'histoire chimique et physiologique du thé, que la connaissance de la nature et de la quantité des principes azotés qu'il contient, j'ai commencé mes recherches sur cette feuille par la détermination exacte de l'azote qui y est contenu, trouvant dans cette donnée un guide sûr pour isoler ensuite les diverses matières entre lesquelles cet azote se trouve réparti.

En dosant l'azote à l'état de gaz par le procédé de M. Dumas, et en prenant les précautions nécessaires pour éviter toute cause d'erreur, notamment la formation du

bioxyde d'azote, j'ai trouvé que 100 parties des thés suivants, desséchés à la température de 110 degrés, contenaient en azote :

Thé pekoë.........	6,58 (1)
Thé poudre à canon.	6,62 (2)
Thé souchong......	6,15 (3)
Thé assam........	5,10 (4)

Ces résultats sont aussi remarquables qu'ils étaient inattendus; car cette proportion d'azote est plus forte que celle qu'on a rencontrée dans presque aucun des végétaux qui ont été examinés jusqu'à ce jour, et l'on sait que M. Boussingault a déterminé l'azote contenu dans la plupart des plantes consommées comme fourrages par les animaux, et que MM. Boussingault et Payen ont soumis au même examen un très-grand nombre de végétaux employés comme engrais. On admet que la valeur comparative des fourrages et des engrais est surtout en raison de la quantité d'azote qu'ils contiennent, et que cette valeur peut être appréciée par la proportion de cet élément, essentiellement propre à l'entretien de la vie chez les animaux comme chez les plantes.

Surpris du résultat de ces premiers essais, qui dévoilaient dans le thé l'existence de 20 à 30 pour 100 de matières azotées, tandis que les analyses qui en avaient été faites ne constatent que 3 à 4 centièmes au plus, je me suis mis, pour ainsi dire, à la poursuite de ces matières, en procédant par élimination et en les cherchant successivement, 1° dans les produits solubles qu'on obtient en épuisant la

---

(1) 1,000 de matière ont donné 56 centimètres cubes d'azote à 15°,5, et 0m,759.

(2) 0,8854 de matière ont donné 51 centimètres cubes d'azote à 21 degrés, et 0m,762.

(3) 0,571 de matière ont donné 30 centimètres cubes d'azote à 17 degrés, et 0m,761.

(4) 0,500 de matière ont donné 22 centimètres cubes d'azote à 16°,5, et 0m,752.

feuille par l'eau chaude ; 2° dans la feuille ainsi épuisée ; 3° dans chacune des substances qu'on peut isoler soit de cette feuille, soit de l'infusion qu'elle a fournie. J'avais pour guide, dans cette recherche, la quantité d'azote contenue dans chacun de ces produits.

Il fallait d'abord déterminer la proportion des matières solubles que le thé cède à l'eau bouillante. Au point de vue pratique, cette détermination offre de l'intérêt, ces matières solubles étant seules utilisées et leur proportion offrant des différences assez grandes qui dépendent à la fois de l'âge de la feuille et de la préparation qu'on lui a fait subir. Il paraît, en effet, bien établi aujourd'hui que les nombreuses espèces de thés qu'on trouve dans le commerce proviennent toutes du même arbuste ; la différence qui existe entre les thés noirs et les thés verts, tant pour l'aspect que pour l'action sur notre économie, provient seulement de la préparation qu'on a fait subir à la feuille, préparation qui varie selon qu'il s'agit de fabriquer l'une ou l'autre sorte de thés.

J'ai déterminé le rapport qui existe entre les produits solubles et les produits insolubles dans l'eau bouillanteen opérant sur 27 sortes de thés, qui sont, d'après M. Houssaye, celles qu'on trouve habituellement dans le commerce en France et en Angleterre. Ces analyses ont été faites en épuisant complétement, au moyen de l'eau bouillante, 10 grammes de chaque sorte. La feuille épuisée était soumise à une lente dessiccation, d'abord à la température ordinaire ; ensuite à l'étuve à la température de 110 degrés : la différence entre le poids de la feuille prise dans son état sec ordinaire, et celui de la feuille épuisée et séchée indique la quantité de matières solubles que contenait la première.

Il faut, d'ailleurs, pour arriver à des résultats exacts, opérer sur la feuille prise au même état de dessiccation avant et après son traitement par l'eau bouillante ; or, cette feuille, telle qu'elle nous arrive de la Chine, n'est jamais complétement sèche, soit que la torréfaction qu'on lui fait

subir ne lui ait enlevé qu'une partie de l'eau qu'elle contient lorsqu'elle vient d'être récoltée, soit qu'elle ait emprunté à l'atmosphère, pendant le voyage, une certaine quantité d'humidité, soit enfin que ces deux causes concourent, ainsi que cela est très-vraisemblable, à son état de non-siccité complète. J'ai donc déterminé d'abord la quantité d'eau que perd chacun de ces thés, et j'en ai tenu compte dans l'estimation de leurs produits solubles et insolubles. Je crois inutile de rapporter ici tous ces nombres; on peut d'ailleurs facilement les déduire du tableau que je vais donner : je dirai seulement que les thés noirs contiennent en moyenne 10, et les thés verts 8 pour 100 d'eau. Parmi ces derniers, le thé poudre à canon perd 6,6 d'eau pour 100 à 110 degrés; le hyson skin, 8,6. Parmi les thés noirs, le souchong fin perd 11,7; le pekoë orange, 8,6; le assam, 8,2. Ce sont les nombres les plus extrêmes que j'aie obtenus. Ces différences paraissent tenir surtout à l'état plus ou moins compacte des diverses sortes de thés.

J'ai trouvé que 100 parties des thés noirs dont les noms suivent, contiennent :

	Parties solubles dans l'eau bouillante, les thés étant pris	
	A l'état sec.	A l'état ordinaire.
Souchong fin	45,7	40,3
Id.	46,0	40,7
Souchong ordinaire	41,8	37,3
Id.	40,3	36,0
Pekoë	34,6	31,3
Id.	38,1	34,5
Pekoë orange	48,7	44,5
Id.	46,8	42,8
Souchong	42,8	39,0
Congo	40,9	36,8
Congo bon	45,8	41,5
Id	45,0	40,7
Campoy	45,0	37,1
Bohea	44,4	39,8
Caper	39,3	35,8
Assam	45,4	41,7
Thé Java	35,2	32,7
Pekoë ordinaire	41,5	38,0

Thés verts.		
Poudre à canon.....	51,9	48,5
Id..........	50,2	46,9
Impérial..........	43,1	39,6
Id..............	47,9	44,0
Hyson............	47,7	43,8
Hyson fin....	46,9	43,1
Hyson schoulang...	45,9	42,3
Hyson junior.......	51,5	47,4
Hyson skin........	43,5	39,8
Tonkay	42,2	38,4

ce qui donne, en moyenne,

Pour les thés desséchés.......	43,2	47,1
Pour les thés à l'état ordinaire.	38,4	43,4

La proportion relative des matières solubles dans l'eau contenues dans dix sortes de thés avait déjà été déterminée par Brande; ce chimiste a trouvé 31 parties solubles dans *le tonkay*, et 41 dans *la poudre à canon*. M. Liebig donne d'autres nombres empruntés à un auteur, qu'il ne nomme pas, d'après lequel *le bohea* fournit 29,5 de matières solubles; *le congo du Cap*, 29,0; *le tonkay*, 36,5; *le hyson*, 44,4.

Il n'est pas surprenant que les mêmes sortes de thés contiennent des quantités variables de produits solubles; il est même impossible qu'il en soit autrement, ces quantités étant dépendantes de la préparation qu'on fait subir à la feuille, dans des circonstances qui ne peuvent pas être deux fois identiquement les mêmes, et aussi, sans doute, de l'état hygrométrique de l'air dans lequel le thé a séjourné. Néanmoins en comparant les nombres donnés par Brande et par M. Liebig avec ceux que j'ai obtenus, on voit que les miens indiquent l'existence d'une quantité notablement plus considérable de produits solubles dans l'eau. Il paraît d'ailleurs probable que les résultats obtenus ou cités par ces deux auteurs ont été fournis par des thés pris dans leur état commercial, et qu'ils ne sont, par conséquent, comparables qu'à ceux que m'ont donnés les thés pris au même

état. En procédant de la sorte, sans tenir compte de l'eau que la feuille contient encore, on n'a point ses principes *solides* et *solubles*, dont la détermination est surtout digne d'intérêt.

En évaporant à siccité la liqueur fournie par l'épuisement de 20 grammes de thé *poudre à canon* au moyen de l'eau bouillante, j'ai obtenu un résidu de couleur brune qui, séché à 110 degrés, pesait $9^{gr},43$; ce qui fait 51,2 de produits solubles dans 100 de ce thé pris à l'état sec, et ce qui confirme le nombre cité précédemment et obtenu par une méthode toute différente.

100 parties de ce résidu ont fourni 4,35 d'azote (1).

La même expérience faite sur le thé *souchong* a donné un résidu qui renferme 4,70 d'azote pour 100 (2).

Ces quantités considérables d'azote appartiennent-elles à plusieurs principes de l'infusion ou seulement à la théine qui s'y trouve dissoute? Cette dernière hypothèse paraît d'abord peu probable, lorsqu'on se rappelle que M. Mulder a trouvé dans 100 parties de thé un peu moins de $\frac{1}{2}$ partie de théine, et M. Steinhouse, 1 partie seulement. Comme la théine contient 29,0 pour 100 d'azote, sa composition étant représentée par la formule $C^8 H^{10} Az^2 O^2$, et comme cette substance est la seule matière azotée que ces chimistes aient signalée dans l'infusion de thé, cette infusion ne devrait contenir que 31 dix-millièmes d'azote d'après M. Mulder, et que 66 dix-millièmes environ d'après M. Steinhouse; de sorte que l'extrait de thé contient en réalité huit fois plus d'azote qu'il n'en faut pour que les analyses de ce dernier chimiste soient exactes, si tout l'azote obtenu dans les analyses qui précèdent appartient en effet à la théine.

Comme le dosage de la théine est une opération fort dif-

---

(1) 0,610 de matière ont donné 23 cent. cubes d'azote à 18 degrés, et $0^m,754$.

(2) 0,858 de matière ont donné 35 cent. cubes d'azote à 17 degrés, et $0^m,749$.

ficile, cette substance étant à la fois soluble dans l'eau, dans l'alcool et dans l'éther, et n'étant précipitable par aucun réactif, le tanin excepté, j'ai d'abord cherché si les produits qui l'accompagnent et qu'on peut séparer de l'infusion de thé, contiennent de l'azote.

Je rappellerai d'abord et j'établirai, au besoin, les principaux caractères de cette infusion; elle est d'une couleur qui varie entre le jaune clair et le brun foncé, selon qu'elle a été faite avec du thé vert ou avec du thé noir. Lorsqu'elle est concentrée et chaude, elle est limpide; mais en refroidissant elle se trouble et elle tient alors en suspension une poudre grise très-divisée qui la rend comme laiteuse, et qui est une combinaison de tanin et de théine, combinaison soluble dans l'eau chaude et insoluble dans l'eau froide. Lorsqu'on a séparé, au moyen du filtre, ce composé insoluble, ou lorsqu'on opère sur des liqueurs chaudes, l'infusion limpide donne, avec le sous-acétate de plomb, un abondant précipité jaune-brun qui contient à peu près la moitié des produits solides qui se trouvent dans la liqueur. Ce précipité contient: 1° toute la matière colorante du thé; la liqueur du sein de laquelle le précipité plombique s'est déposé est incolore; 2° tout le tanin; on sait que ce corps forme avec l'oxyde de plomb un composé insoluble; 3° un acide particulier qui, lorsqu'il est mis en liberté, donne avec l'eau une dissolution incolore, et avec le sous-acétate de plomb un précipité jaune chamois qui contient environ 70 pour 100 d'oxyde de plomb. Ce précipité peut être retiré directement de l'infusion de thé en la traitant d'abord par la chaux ou par la baryte qui séparent une partie du tanin et toute la matière colorante: j'ai trouvé que la proportion des matières ainsi précipitées était égale à 10 pour 100 environ pour le thé vert; lorsqu'on a séparé, au moyen du filtre, ce précipité qui est d'un brun foncé, on sature l'excès d'alcali que la liqueur contient par l'acide acétique; celle-ci fournit alors par le sous-acétate

de plomb le composé jaune que je viens de mentionner et qu'on obtient aussi en traitant par ce même acide, qui le dissout, le mélange des différents produits séparés directement de l'infusion de thé par le sous-acétate de plomb, puis en ajoutant à la liqueur filtrée soit une certaine quantité de ce dernier réactif, soit de l'ammoniaque. L'acide dans sa combinaison avec l'oxyde de plomb renferme *environ* 51,0 de carbone, 5,0 d'hydrogène et 44 d'oxygène : je n'ai pas pu le faire cristalliser ni en terminer l'examen.

Quoi qu'il en soit d'ailleurs du nombre et de la nature des substances ainsi précipitées, je me suis assuré qu'elles ne renferment dans leur ensemble qu'une quantité insignifiante d'azote; c'est donc dans la partie de l'infusion non précipitable par le sous-acétate de plomb qu'il faut chercher la totalité de la matière azotée qui a fourni les quantités d'azote que j'ai mentionnées ci-dessus.

J'ai d'abord essayé de doser la théine en employant le procédé de M. Mulder qui consiste à ajouter à l'infusion de thé de la magnésie calcinée, à évaporer ce liquide et à reprendre le résidu sec par l'éther qui ne dissout que la théine. Cette méthode est imparfaite pour deux raisons : d'abord parce que la magnésie décompose une bonne partie de la théine en donnant naissance à de l'ammoniaque qui s'en va et à des sels ammoniacaux qui se retrouvent dans le résidu; ensuite parce que la théine étant très-peu soluble dans l'éther, puisqu'il faut 300 parties de ce liquide pour en dissoudre une partie, il arrive qu'après quelques traitements cette substance est retenue par les produits qui l'accompagnent dans le résidu, sans qu'il soit possible de la faire entrer en dissolution, quelle que soit la quantité d'éther qu'on emploie.

Néanmoins, en modifiant un peu ce procédé, c'est-à-dire en traitant d'abord par l'alcool le produit aqueux évaporé avec la magnésie, puis par l'éther le résidu alcoolique desséché à une douce chaleur, j'ai obtenu les quantités sui-

vantes de théine fournies par 100 parties de

Thé hyson	3,40
Mélange à parties égales de poudre à canon, hyson, impérial, caper et pekoë.	2,70
Poudre à canon	2,20
Thé hyson	2,56
Poudre à canon	4,10
Le même thé	3,50

Ces quantités, qui sont beaucoup plus fortes que celles qui ont été obtenues par M. Mulder et par M. Steinhouse, sont encore insuffisantes pour représenter tout l'azote contenu dans l'infusion de thé; car, en admettant que cet élément n'ait été fourni que par la théine, la poudre à canon contiendrait 7,4 de cette substance, et le souchong 6,5 dans 100 parties de ces thés, pris dans leur état ordinaire. J'étais d'ailleurs convaincu que le procédé récemment employé par M. Steinhouse pour doser la théine doit fournir des résultats encore moins exacts que celui que je viens d'indiquer; car ce procédé, qui consiste à évaporer à siccité l'infusion de thé de laquelle on a séparé, par le filtre, le précipité formé par le sous-acétate de plomb, à mêler le résidu de l'évaporation avec du sable, et à chauffer ce mélange, pendant dix à douze heures, dans une terrine surmontée du cône en carton qu'on emploie pour la sublimation de l'acide benzoïque, avec la feuille de papier interposée par M. Mohr pour retenir les matières huileuses qu'entraînent les produits qui se subliment; ce procédé, dis-je, doit nécessairement détruire, par l'action prolongée de la chaleur, une substance aussi complexe et aussi peu volatile que la théine, qui ne se vaporise qu'à 384 degrés. Aussi ai-je cherché une méthode plus simple et plus sûre pour déterminer la quantité totale de cette substance.

J'ai assez bien réussi au moyen du procédé suivant, qui, dans tous les cas, fournit la meilleure méthode pour préparer économiquement la théine : on ajoute à l'infusion de thé chaude un léger excès de sous-acétate de plomb, puis de

l'ammoniaque ; on fait bouillir quelque temps, et on lave avec soin, à l'eau bouillante, le précipité plombique recueilli sur un filtre. En traitant la liqueur filtrée par un courant d'hydrogène sulfuré, on sépare l'excès de plomb, et en concentrant à une douce chaleur le liquide débarrassé du sulfure de plomb, on obtient, par le refroidissement de ce liquide, une abondante cristallisation de théine presque pure ; l'eau-mère, concentrée par la chaleur, fournit une nouvelle quantité de cristaux.

On reprend, par l'eau chaude, la théine de première cristallisation ; on l'obtient alors en belles aiguilles soyeuses, assez pure pour être pesée après sa dessiccation dans un air sec ; le liquide qui accompagne cette théine sert à purifier les cristaux de second jet, tandis qu'on essaye, en évaporant l'eau mère de ces derniers, d'obtenir une nouvelle cristallisation.

En procédant ainsi, j'ai retiré de 50 grammes de thé poudre à canon $1^{gr},92$ de théine cristallisée ; soit 3,84 pour 100.

Mais il reste un liquide sirupeux qui contient encore de la théine mélangée avec de l'acétate d'ammoniaque provenant des réactifs, et avec une autre matière qui se trouve dans le thé, et qui n'est pas précipitable par le sous-acétate de plomb. Cette théine, j'ai essayé de la doser au moyen d'une dissolution titrée de tanin qui la précipite toute seule, et, je crois, d'une manière complète, pourvu que la liqueur soit exactement neutralisée par l'ammoniaque à fur et à mesure qu'on ajoute le tanin.

A cet effet, j'ai préparé une dissolution contenant 20 grammes de tanin, obtenu par le procédé de M. Pelouze, et 400 centimètres cubes d'eau distillée froide. En versant cette liqueur au moyen d'une burette graduée dans une dissolution froide et titrée de théine, j'ai trouvé qu'il fallait 22 divisions de cette burette pour précipiter 1 décigramme de théine. Afin de rendre plus facile la précipitation de cette

substance, il convient de rendre sa dissolution plus dense en y ajoutant de l'eau saturée de sel marin; on obtient alors un précipité caillebotté et une liqueur claire, tandis que la dissolution seule donne un produit comme laiteux que le filtre ne retient qu'avec beaucoup de lenteur : il faut, en outre, comme je l'ai dit, avoir soin de maintenir la liqueur bien neutre, car le précipité est partiellement soluble dans les acides, dans l'acide tanique lui-même, et aussi dans un excès d'ammoniaque.

En observant ces précautions et en opérant, autant que possible, d'une manière comparative, j'ai trouvé que les eaux mères, séparées de la théine qui avait été pesée à l'état de cristaux, exigeaient 110 divisions de la burette pour que le précipité de tannate de théine cessât de se former. Or 110 divisions de cette liqueur représentent 5 décigrammes de théine qui, ajoutés aux 1gr,92 déjà obtenu, donnent 5,84 de théine retirés de 100 de thé poudre à canon pris dans son état ordinaire, et 6,21 de cette substance retirés du même thé pris à l'état sec.

Comme l'extrait sec de ce thé contient, comme je l'ai dit ci-dessus, 4,35 d'azote qui représenteraient 7,4 de théine, et comme la théine récoltée renferme seulement 3,60 d'azote, il reste 0,75 d'azote de disponible. A quelle matière cette quantité appartient-elle? je l'ignore; mais je dois faire remarquer que la quantité de théine que j'ai obtenue, toute considérable qu'elle est, représente cependant un minimum; il est d'ailleurs probable qu'il existe dans l'infusion quelques sels ammoniacaux qui accompagnent les autres sels alcalins qu'elle contient en grande quantité, car je n'ai pas trouvé moins de 5,5 de cendres dans une infusion fournie par 100 grammes de thé : enfin il est possible que, pendant l'évaporation du liquide qui la contient, une petite partie de théine se décompose elle-même en donnant naissance à des produits ammoniacaux; car cette substance, l'une des plus riches en azote que l'on connaisse, s'altère très-facile-

ment, de même que les produits cyaniques auxquels elle ressemble.

Quoi qu'il en soit à cet égard, je me crois fondé à conclure de ces expériences qu'elle constitue la principale, sinon la seule matière azotée soluble dans l'eau, contenue dans le thé, et qu'elle existe dans cette feuille en quantité beaucoup plus considérable qu'on ne l'avait admis jusqu'à ce jour. Je reviendrai sur les conséquences qu'on peut tirer de ce fait par rapport au thé considéré comme boisson alimentaire.

Je passe maintenant à l'examen de la portion de la feuille insoluble dans l'eau qui reste après l'infusion.

J'ai trouvé que les feuilles de thé souchon, entièrement épuisées par l'eau, contiennent, dans 100 parties, 4,46 d'azote (1), et celles du thé poudre à canon, 4,30.

Ces quantités sont également très-considérables; ajoutées à la proportion d'azote contenue dans les infusions, elles représentent d'ailleurs, à très-peu près, tout l'azote que l'analyse a constaté dans la feuille prise dans son état commercial.

J'ai séparé de ces feuilles épuisées la matière azotée qu'elles renferment en les faisant bouillir pendant quelque temps avec de l'eau contenant 1 dixième de leur poids de potasse caustique. La liqueur, brune qu'on obtient ainsi, fournit, par l'addition de l'acide sulfurique ou de l'acide acétique dilués, un abondant précipité brun et floconneux qui, étant bien lavé et desséché, contient 8,45 d'azote pour 100 (2). Le produit d'une autre préparation a donné 9,93 d'azote (3). L'alcool et l'éther enlèvent à ce produit environ 30 pour 100 d'une matière verte, qui paraît mélangée avec un acide gras; car le produit qui reste après la distillation de ces liquides est soluble dans les alcalis faibles, précipitable par

(1) $0^{gr},598$ de matière ont donné 23 cent. cubes d'azote à 18 degrés, et $0^{m},758$.

(2) $0^{gr},550$ de matière ont donné 40 cent. cubes d'azote à 19 degrés, et $0^{m},761$

(3) $0^{gr},580$ de matière ont donné $50^{c.c.},5$ d'azote à $19^{o},5$, et $0^{m},751$.

les acides, très-fusible et enfin insoluble dans l'eau. On obtient plus directement ce corps gras et cette matière verte en traitant par l'éther et par l'alcool la feuille d'abord épuisée par l'eau, puis desséchée; le thé fournit ainsi 8 à 10 centièmes de ce mélange.

Ainsi traitée, la matière azotée n'est pas encore pure; elle contient une matière colorante et probablement aussi une certaine quantité d'acide pectique; car les feuilles épuisées par l'eau, par l'éther et par l'alcool, étant mises en contact avec une dissolution de potasse étendue et froide, fournissent un liquide très-peu coloré qui donne, par l'addition d'un acide, une abondante gelée d'acide pectique.

Je n'ai pas encore trouvé le moyen de débarrasser la matière azotée de ces diverses impuretés; néanmoins, celle qui avait fourni d'abord 8,45 d'azote contenait 11,35 de cet élément, après qu'elle avait été traitée par l'éther et par l'alcool (1).

Bien que cette substance ne me soit pas encore connue dans son état de pureté, je crois qu'on peut la considérer, d'après l'ensemble de ces caractères, comme identique avec *la caséine* du lait. Il est probable qu'elle existe dans la portion insoluble de la feuille en combinaison avec le tanin. La potasse agit en détruisant cette combinaison et en rendant la caséine soluble dans l'eau; aussi les feuilles épuisées, qui, traitées par l'eau, donnent un liquide qui ne colore pas en noir les sels de fer, fournissent, après qu'elles ont été soumises à l'action de la potasse, une liqueur qui, après la séparation de la caséine, offre ce caractère de coloration. Il est possible également qu'une partie de cette substance se trouve en combinaison avec l'acide pectique.

Quoi qu'il en soit à cet égard, la rencontre dans le thé de la caséine ou d'une substance azotée qui lui ressemble beaucoup, est un fait d'autant plus digne d'intérêt que cette matière s'y trouve dans une très-forte proportion, si,

---

(1) $0^{gr},592$ de cette matière ont donné 56 cent. cubes d'azote à 17 degrés, et $0^{m},765$.

comme cela est vraisemblable, tout l'azote de la feuille épuisée lui appartient. En admettant en effet, avec MM. Dumas et Cahours, 16 pour 100 d'azote dans la caséine, les feuilles épuisées ne contiendraient pas moins de 28 centièmes de cette matière, et le thé, dans son état ordinaire, en renfermerait 14 à 15 pour 100.

J'ai cherché à constater ce résultat en extrayant par la potasse toute la caséine qu'on peut séparer de la feuille préalablement épuisée par l'eau bouillante. 50 grammes de ces feuilles ont fourni, par un premier traitement, $16^{gr},5$ du mélange complexe dont j'ai parlé plus haut, desséché à 110 degrés et 1 gramme du même produit par un second traitement; ce qui fait 35 pour 100 de feuilles épuisées. Comme ce mélange contient 8 à 9 pour 100 d'azote, il ne renferme que la moitié de son poids de caséine; soit 17,5 au lieu de 28 qu'il faudrait obtenir.

Il ne m'a donc pas été possible de séparer par la potasse caustique toute la matière azotée que renferme la feuille épuisée; d'autant moins qu'on doit décomposer par ce traitement une portion de cette matière elle-même; j'ai d'ailleurs trouvé, dans les feuilles qui restent après le traitement par la potasse, encore 2,73 (1) d'azote pour 100 de ces feuilles qui représentent les 34 centièmes du poids du thé; de sorte que ces feuilles contiendraient encore 5,7 de caséine qui, ajoutés aux 17,5 déjà recueillis, donnent un total de 23,2 de caséine, au lieu de 28 que doivent contenir ces feuilles.

Telles sont les principales observations que j'ai faites sur le thé. On voit que ce produit renferme des proportions de matières azotées tout à fait exceptionnelles; mais je dois faire remarquer que ces proportions, plus que doubles de celles qui ont été trouvées dans les feuilles les plus riches en azote, appartiennent à un produit végétal pris, non pas

(1) $0^{gr},548$ de feuilles épuisées ont donné 13 cent cubes d'azote à 20 degrés, et $0^{m},749$.

dans son état naturel, mais après avoir été, pour ainsi dire, manufacturé. On sait, en effet, que le thé, avant d'être livré à la consommation, subit toujours une torréfaction qui ramollit la feuille et qui permet d'en exprimer, par la pression des mains, un suc assez abondant, âcre et légèrement corrosif; la feuille est ensuite roulée en spirale et desséchée plus ou moins rapidement, selon qu'il s'agit de la fabrication du thé vert ou de celle du thé noir.

Or il est possible que ce suc soit peu ou point azoté et que sa séparation augmente, par suite, la quantité d'azote qui reste dans la feuille : en déterminant celle qui se trouve dans les feuilles fraîches des arbres à thé, cultivés aux portes de Paris, dans les belles pépinières de MM. Cels, j'ai trouvé 4,37 d'azote pour 100 de thé séché à 110 degrés, ayant perdu 41,6 d'eau. Il est possible aussi et peut-être même plus probable que la différence de climat et de culture suffise pour produire ces variations.

Enfin, en incinérant un certain poids de thé, j'ai obtenu les quantités suivantes de cendres :

Souchong (thé noir).	5,5 pour 100 de thé.
Poudre à canon.....	5,5
Autre............	6,0
Pekoë (thé noir)....	5,3

Ces cendres sont un peu rougeâtres; l'oxyde de fer qu'elles contiennent provient, sans doute, en grande partie des vases de fer employés à la torréfaction de la feuille; il paraît, en outre, résulter des renseignements qu'on possède sur la culture du thé en Chine et de ceux qu'a fournis M. Guillemin sur les plantations du Brésil, que cet arbuste se plaît surtout dans les terrains argilo-ferrugineux. L'existence de l'ammoniaque dans les oxydes de fer hydratés n'exercerait-elle pas quelque influence sur la forte proportion d'azote que contient le thé?

Quelques auteurs ont prétendu que le thé vert devait sa couleur à la présence d'un sel de cuivre. Cette assertion est

tout à fait inexacte ; les cendres de thé vert ne contiennent pas la moindre trace de ce métal.

Je demanderai maintenant à l'Académie la permission d'entrer dans quelques considérations sur l'emploi du thé considéré comme boisson ou comme aliment.

Puisque le thé renferme, dans son infusion et dans ses feuilles épuisées par l'eau, une proportion de matières azotées plus considérable que celle qui a été trouvée dans aucun des végétaux employés à l'alimentation, il faut bien le considérer comme un aliment véritable lorsqu'il est consommé dans son ensemble, avec ou sans infusion préalable, comme le consomment, assure-t-on, quelques populations indiennes.

La feuille épuisée par l'eau est aussi une substance alimentaire, et il est curieux de voir cette feuille employée dans cet état comme aliment, par certains peuples barbares qui, guidés par l'instinct, ont su lui trouver des qualités nutritives que nous ne lui soupçonnions pas. Ainsi on lit le passage suivant dans une lettre de Victor Jacquemont, datée des montagnes qui séparent le Cachemyr du Thibet : « Le thé vient à Cachemyr par caravanes, au travers de la » Tartarie chinoise et du Thibet. Je ne sais pourquoi le » thé de caravane, chez nous, a quelque réputation ; celui- » ci n'a absolument aucun parfum ; on le prépare avec du » lait, du beurre, du sel et *un sel alcalin d'une saveur* » *amère*. Il résulte de tout cela un bouillon trouble et rou- » geâtre, d'un goût extraordinaire, exécrable suivant les » uns et décidément agréable suivant les autres, et je suis » de ceux-ci. En Kanawer, on le fait d'une autre façon ; » on fait bouillir des feuilles pendant une heure ou deux ; » puis *on jette l'eau*, et on accommode les feuilles avec du » beurre rance, de la farine et de la chair de chèvre ha- » chée. C'est un ragoût détestable, etc. » N'est-il pas évident que, dans la première préparation, l'emploi du sel alcalin a pour objet de dissoudre la caséine et de la faire

entrer dans l'infusion, tandis que dans la seconde cette caséine reste et est consommée avec la feuille elle-même?

Mais ce n'est point ainsi qu'on prépare le thé chez les nations plus civilisées; doit-on admettre que l'infusion de thé, faite comme nous la faisons ordinairement, c'est-à-dire avec peu de thé et beaucoup d'eau, agit autrement que sur notre système nerveux, en produisant une surexcitation qui peut tenir lieu, pendant un certain temps, de nourriture véritable? ou bien peut-on considérer cette infusion, abstraction faite des substances qui la composent, comme étant l'équivalent, par son poids et par celui de son principe azoté, d'autres substances liquides d'une incontestable efficacité comme aliment? Peut-on, par exemple, la comparer au lait ou au bouillon de viande?

La solution de ces questions se trouve subordonnée à des éléments trop divers et trop incertains pour qu'on puisse la considérer comme facile et prochaine; j'ai cherché néanmoins à en déterminer quelques-uns.

J'ai fait du thé comme on le fait habituellement ou comme on doit le faire, et j'ai déterminé le poids des principes solubles contenus dans cette boisson. On a donc fait infuser pendant dix ou douze minutes, dans une théière préalablement échaudée, en métal anglais ou en porcelaine, 10 grammes de thé vert (poudre à canon); on a employé pour l'infusion 500 centimètres cubes d'eau bouillante qui représentent trois tasses de thé environ.

L'infusion contenait 3 grammes de produits solubles, soit 33,3 pour 100 de thé. Une autre opération faite avec 20 grammes de thé et 1 litre d'eau, a donné $6^{gr},33$ de produits solides dissous dans l'eau, soit 31,7 pour 100 de thé. 20 grammes de souchong, traités de la même manière, ont fourni $4^{gr},55$ de produits solubles, soit 22,7 pour 100 de thé.

On voit que l'infusion ordinaire de thé ne renferme qu'une partie des produits solubles contenus dans la feuille;

car on a trouvé dans la poudre à canon, prise à son état ordinaire, 48,5, et dans le souchong, 40,3 pour 100 de ces produits.

Dans une autre expérience, on a fait deux infusions successives du même thé chacune pendant dix minutes; c'était du souchong : la première contenait 19,4 de principes solubles pour 100 de thé, et la seconde 4,8; en tout, 24,2.

J'ai déterminé ensuite l'azote contenu dans ces infusions; dans les produits solubles évaporés à siccité de la poudre à canon, il y avait 4,81 d'azote pour 100.

Dans ceux du souchong....	4,79
Dans la première infusion de souchong..	4,80
Dans la seconde infusion de souchong .	3,89

Les trois premiers de ces nombres représentent environ 15 de théine dans 100 de résidu sec; d'où il résulte que l'infusion, par exemple, faite avec 20 grammes de poudre à canon, ce qui est une proportion de thé très-considérable, qui a fourni 6,33 de produits solubles, renferme à peu près 1 gramme de théine. Ces quantités semblent insuffisantes pour qu'on puisse considérer le thé comme un aliment réel. Il est probable d'ailleurs que la théine n'est pas une substance alimentaire, mais un principe actif du genre des alcalis végétaux auxquels elle ressemble à plusieurs égards.

Il est d'ailleurs inutile de rappeler que l'infusion de thé est habituellement consommée avec du sucre, employé en quantité quatre fois plus considérable au moins que le thé lui-même; de sorte que la proportion de produits solides dans le thé sucré devient égale, dans l'exemple que je viens de citer, à 32 grammes environ.

Il est à désirer néanmoins que des expériences physiologiques viennent nous apprendre bientôt ce qu'il faut penser du rôle que le thé joue dans l'alimentation, surtout quand on considère l'énorme quantité qu'on en prend dans quelques pays; les Anglais, lorsqu'ils consomment par an 18 millions de kilogrammes de thé associés à 72 millions de kilo-

grammes de sucre au moins, acceptent-ils cette boisson comme un moyen d'attendre des aliments plus substantiels, ou bien l'acceptent-ils comme l'équivalent de ces aliments eux-mêmes? Telle est, je crois, la question à résoudre, posée dans les termes les plus simples.

En comparant les quantités de thés consommées en Angleterre, en Hollande et en France, on voit, d'après les documents rassemblés par M. Houssaye, qu'en 1840, l'Angleterre a importé 14 millions de kilogrammes de thés; les États-Unis, 9 millions; la Hollande, 450 498 kilogrammes, tandis que la France n'en a reçu et consommé que 124 498 kilogrammes; à la vérité, cette consommation croît, chez nous, d'après une progression rapide, car elle est représentée, en 1842, par 231 880 kilogrammes. Néanmoins ce chiffre si faible, relativement à notre population, prouve que le thé n'occupe jusqu'ici qu'une place bien minime parmi les produits que le commerce extérieur fournit à notre alimentation. Est-il désirable qu'un pareil état de choses vienne à changer? Doit-on souhaiter que le thé cesse d'être exclusivement une boisson de luxe pour devenir, comme en Angleterre, une boisson de première nécessité? Ce sont là des questions auxquelles il est difficile de répondre, à cause du conflit des intérêts opposés qui interviennent dans leur discussion.

Au point de vue le plus général, si le thé, considéré comme plante alimentaire, contient plus d'azote qu'aucune autre plante, sa culture doit être aussi profitable que possible, pourvu que la majeure partie de cet azote soit empruntée non pas aux engrais, mais à l'air atmosphérique. Les renseignements que nous possédons sur l'agriculture chinoise semblent justifier cette dernière hypothèse, et il est constant que la culture du thé forme la principale richesse de la population si considérable du céleste empire. Sous ce rapport, il est sans doute désirable que de nouveaux

efforts soient tentés pour naturaliser dans nos départements méridionaux ce précieux végétal.

Si l'on considère le thé comme provenance du commerce extérieur, une augmentation dans sa consommation en France offre cet avantage, qu'en même temps qu'elle établit des relations maritimes importantes, elle attire après elle, ou elle fait sortir du sol une quantité de sucre très-considérable. Or la seule manière d'arriver aujourd'hui à résoudre définitivement la question des sucres, sans un trop grand préjudice soit pour la fabrication indigène, soit pour l'industrie coloniale, serait, dans mon opinion, de créer de nouveaux débouchés pour augmenter la consommation du sucre.

Mais on ne peut nier, d'un autre côté, que si l'usage du thé venait à se répandre dans toutes les classes de la population, il ferait diminuer la consommation d'autres produits indigènes qu'il remplacerait, notamment celle du vin. Sous ce rapport, il est peut-être à désirer que cet usage ne continue à s'accroître chez nous que pour fournir une boisson de luxe, et qu'il ne prenne pas le développement qu'il a pris dans d'autres pays moins favorisés par la nature pour la culture de la vigne et des plantes nutritives, que notre sol produit en si grande abondance.

OBSERVATIONS SUR L'ACTION DU SUCRE DANS L'ALIMENTATION DES GRANIVORES ;

PAR M. FÉLIX LETELLIER, D.-M.

Il y a quelque temps, M. Chossat, médecin et physiologiste distingué de Genève, a présenté à l'Académie un Mémoire qui donnerait, si les expériences qu'il contient se vérifiaient, la solution d'une des questions les plus contro-

versées aujourd'hui : je veux parler de celle de l'engraissement.

L'auteur de ce travail conclut qu'il y a production de graisse par l'usage du sucre.

Les expériences qui avaient conduit à cette conclusion importante, toutes consciencieuses et bien dirigées qu'elles sont, ne me paraissant pas cependant offrir assez de netteté dans leurs résultats, j'ai entrepris une série d'expériences analogues, et j'ai tâché de mettre dans ces recherches toute l'exactitude qu'elles comportaient.

M. Chossat a expérimenté sur treize pigeons et quatre tourterelles.

Tous ces oiseaux ont reçu par jour, pendant toute la durée de l'expérience qui se terminait par la mort, une quantité de sucre de canne équivalente à celle qu'il aurait fallu leur donner de blé pour les entretenir sans perte de leur poids.

Cette quantité est de 29^{gr},8 pour les pigeons, et de 14^{gr},2 pour les tourterelles.

Neuf de ces animaux ont été pendant l'expérience privés de boissons. Je note ici cette circonstance qui est importante.

La durée de la vie a été en moyenne, pour les pigeons, de quatre jours seulement, de huit jours pour les tourterelles.

Voici de quelle manière M. Chossat a déterminé la graisse trouvée à l'autopsie. Dans la moitié des cas il a pesé la peau avec la graisse qui la doublait et celle qu'il a pu recueillir par la dissection, et il a donné le poids obtenu ; dans l'autre moitié, il s'est contenté de l'évaluer à la simple vue.

Sur sept pigeons du régime saccharin, la graisse a varié de 31 à 68 grammes. En moyenne, elle était de 48 grammes. M. Chossat l'a fixé à 58 grammes à l'état normal.

Il faut remarquer que tous ces pigeons avaient été privés d'eau, circonstance qui avait abrégé singulièrement la durée de leur vie.

Chez les pigeons qui ont eu de l'eau à volonté, celui qui a vécu le plus longtemps (douze jours) ne présente pas de graisse.

Chez un autre elle n'est pas indiquée; chez un troisième elle est notée une petite quantité; enfin pour les deux derniers qui ont vécu huit et neuf jours, on trouve les mentions suivantes : épiploon assez chargé de graisse, épiploon chargé de graisse.

Quant aux tourterelles la vie a été longue dans deux expériences (onze jours et demi et seize jours). Elle a été de seize heures seulement chez une troisième tourterelle, qui est notée contenir une très-grande quantité de graisse. Il est évident ici que cette graisse était celle que l'animal possédait vingt-quatre heures auparavant. Chez les trois autres la graisse a été déterminée une fois par la pesée qui a donné $32^{gr},3$, et deux autres fois on s'est contenté de l'évaluer à la simple vue et d'exprimer sa proportion par les mots : quantité modérée, graisse conservée en totalité.

Il est facile de contester ces données. On peut objecter, sans parler de la méthode d'évaluation de la graisse, que les sept pigeons privés d'eau ont vécu trop peu de jours pour qu'on soit en droit d'attribuer au régime du sucre la graisse trouvée à l'autopsie.

Il me semble que la seule conclusion que l'on soit admis à prendre, d'après les faits ci-dessus, tels qu'ils sont présentés, est la présence, dans certains cas, d'une notable quantité de graisse à la mort. Plusieurs expérimentateurs avaient déjà fait remarquer cette présence de la graisse à l'autopsie chez les animaux nourris exclusivement avec une substance amylacée, saccharine ou gommeuse. MM. Tiedmann et Gmelin l'ont rencontrée en *quantité notable* sur trois oies nourries à ces trois divers régimes. M. Chossat cite lui-même dans son Mémoire l'expérience de MM. Macaire et Marcet qui avaient trouvé de la graisse chez un mouton après l'avoir nourri exclusivement au sucre.

Cette graisse, que l'on trouve ainsi à la mort, est le reste de celle qui préexistait à l'expérience. Sa proportion se montre plus forte que dans l'inanitiation où elle est à peu près nulle; parce que, pour l'entretien de sa chaleur, l'animal est obligé, quand il est privé d'aliments, de brûler sa propre substance et sa graisse de préférence.

Je ne crois pas qu'une autre explication puisse être adoptée.

Je vais maintenant présenter mes expériences, et les résultats qu'elles m'ont donnés.

J'ai expérimenté exclusivement sur des tourterelles pour deux raisons. Les oiseaux qui avaient fourni les résultats les plus favorables à l'opinion de M. Chossat appartenaient à cette espèce. En outre, il devenait plus facile de déterminer la quantité de graisse par le procédé que j'ai employé, les tourterelles offrant un poids et un volume beaucoup moindres que les pigeons.

Je n'ai pas privé de boissons les oiseaux que j'ai nourris au sucre, puisque, dans les expériences de M. Chossat, il était arrivé que les animaux qui avaient été soumis à cette privation d'eau avaient vécu moins longtemps, et fait des pertes journalières plus considérables que ceux qu'on avait laissé mourir d'inanition. De telle sorte que le sucre avait agi dans ces circonstances comme une substance délétère, au lieu d'offrir les qualités d'un aliment, qui, lors même qu'il est insuffisant, prolonge la durée de la vie en diminuant la perte diurne.

De plus, comme l'auteur du Mémoire cité, j'aurais pu me trouver embarrassé, par suite du peu de durée de la vie, pour décider si la graisse trouvée à la mort préexistait à l'expérience, ou avait été produite sous l'influence du régime saccharin.

Ainsi que M. Chossat l'avait fait, j'ai donné du sucre de canne en pain que j'ai pulvérisé et humecté avec une quantité d'eau convenable, qui permit de le réunir en masses faciles à ingérer.

La quantité qu'on a fait prendre par jour a été de 13 à 16 grammes : elle a été en général bien supportée. Il y a eu quelques vomissements. Les selles, le plus souvent modérées, ont été extrêmement abondantes chez un des oiseaux en expérience.

La graisse a été séparée de la manière suivante :

La peau, avec la graisse qui la doublait, était détachée par la dissection. On y réunissait la graisse trouvée dans l'abdomen, etc.; et, lorsque la quantité en paraissait assez forte, on en retirait immédiatement une grande partie par la fusion à la chaleur du bain-marie. Le résidu était ensuite mis à plusieurs reprises en digestion dans l'éther jusqu'à parfait épuisement.

On pesait enfin après l'évaporation complète de l'éther et de l'eau qui se faisait au bain-marie.

Le reste de l'animal était ensuite coupé par morceaux, desséché à 100 degrés, et mis, comme ci-dessus, en digestion dans l'éther. On finissait, après dessiccation préalable, par le pulvériser, et on le traitait de nouveau par le même agent.

Pour obtenir des résultats qui présentassent quelque certitude, il était nécessaire de déterminer à l'avance la moyenne de la graisse que pouvaient contenir les tourterelles dans les conditions d'une alimentation normale, ainsi que les variations de quantité.

Sept tourterelles ont été sacrifiées dans ce but. Toutes avaient été gardées quelque temps nourries avec du millet, à l'effet de s'assurer de leur bon état de santé.

On trouvera dans le tableau n° 1 les proportions de graisse fournies par ces tourterelles, ainsi que plusieurs autres données.

Tableau n° I. — *Tourterelles au régime normal.*

Numéros des expériences.	POIDS DU CORPS.		GRAISSE EXISTANT NATURELLEMENT	
	Avec les plumes.	Sans les plumes.	En grammes.	Proportionnelle.
	gr.	gr.	gr.	gr.
1.	139,2	127,9	13,0	0,102
2.	134,8	125,0	17,3	0,138
3.	154,2	143,8	17,7	0,123
4.	165,4	150,0	19,2	0,128
5.	142,7	135,1	21,5	0,159
6.	179,5	165,8	24,2	0,145
7.	168,4	154,6	33,3	0,215
Moyennes..	154,9	143,2	20,88	0,1585

On voit dans ce tableau combien la graisse a varié dans ses proportions. Ainsi le minimum, qui est de 10 p. 100, s'éloigne de plus de la moitié du maximum, qui s'élève à 21 p. 100. La moyenne est de 15,85 p. 100.

Occupons-nous actuellement des résultats offerts par les tourterelles soumises au régime exclusif du sucre. Ils sont inscrits dans le tableau n° 2.

On voit figurer aussi dans ce tableau deux expériences sur la privation des aliments, et trois expériences relatives au régime d'un corps gras. Il en sera question plus tard.

Sur sept tourterelles nourries au sucre, deux ont vu modifier leur régime au commencement du sixième jour. On a réduit à 10 grammes leur ration quotidienne de sucre, et on a ajouté 12 grammes de blanc d'œuf coagulé. On espérait, par cette addition, placer ces oiseaux dans des conditions plus favorables pour mettre en évidence l'action *engraissante* du sucre, puisqu'au moyen d'une substance azotée leur régime s'écartait moins d'une alimentation régulière.

Le tableau montre qu'il n'en a rien été. La vie, il est vrai, a été prolongée; les pertes journalières ont été moins fortes; mais, par contre, une faible proportion de graisse existait à la mort.

Sur les cinq autres tourterelles dont le régime n'a pas été

modifié, deux ont offert des quantités fort minimes de graisse ; une autre, une quantité de près des deux tiers inférieure à la moyenne ; une quatrième se tient encore très-notablement au-dessous ; la cinquième enfin n'atteint pas cette moyenne.

Pour mieux faire ressortir les différences, je vais placer en regard les quantités de graisse offertes par les tourterelles du régime normal et du régime saccharin.

	Régime normal, graisse pour 100 en nombres ronds.	Régime du sucre, graisse pour 100 en nombre ronds.	
	10	3	Avec addit. d'albumine.
	12	4	
	13	3	Sans addit. d'albumine.
	14	3	
	15	6	
	16	10	
	21	15	
Moyenne...	15,8	6,3	

Ces résultats parlent d'eux-mêmes.

Évidemment il n'y a pas eu production de graisse pendant le régime du sucre. Seulement par la combustion, dans l'acte respiratoire, le sucre a concouru à entretenir la chaleur animale, et a servi ainsi à ménager la graisse tenue en réserve.

Il est facile d'ailleurs de prouver directement ce que je viens d'avancer. Qu'on fasse respirer une tourterelle pendant plusieurs heures sous une cloche où l'air se renouvelle constamment et avec vitesse, au moyen d'un appareil aspirateur, et qu'on recueille l'acide carbonique produit, on trouvera une grande différence dans la quantité du carbone brûlé suivant que cette tourterelle sera privée d'aliments depuis quelques jours, ou nourrie pendant le même nombre de jours avec un aliment insuffisant, comme du sucre, du beurre, etc.

Les expériences que je vais citer ont été faites au moyen d'un appareil établi dans le laboratoire de M. Boussingault, pour déterminer la quantité de carbone brûlée par une

tourterelle à l'état normal et dans l'inanitiation. Je me suis servi de cet appareil pour déterminer l'acide carbonique produit sous l'influence des régimes du sucre et du beurre.

Deux tourterelles de même poids (185^{gr},0), nourries avec du millet à volonté, ont produit pendant le jour, dans plusieurs expériences, une quantité d'acide carbonique à très-peu près semblable.

Cette quantité s'est élevée par heure, en moyenne, à 0^{gr},852 contenant 0^{gr},232 de carbone.

Une de ces tourterelles fut soumise à la privation des aliments pendant sept jours; on la mit pendant le jour sous la cloche à plusieurs reprises. Elle a donné par heure, en moyenne, 0^{gr},429 d'acide carbonique répondant à 0^{gr},117 de carbone. Il s'est trouvé qu'elle avait brûlé ainsi à peu près la moitié moins de carbone que dans son état normal.

Une autre tourterelle, depuis trois jours au régime du sucre, a donné 0^{gr},715 d'acide carbonique contenant 0^{gr},195 de carbone.

Deux tourterelles, au régime du beurre depuis cinq et six jours, ont produit : la première, 0^{gr},623 d'acide carbonique répondant à 0^{gr},169 de carbone; la deuxième, 0^{gr},548 d'acide carbonique contenant 0^{gr},149 de carbone.

Ces résultats sont réunis dans le tableau suivant :

ANIMAUX en expériences.	POIDS INITIAL.	ACIDE carbonique produit par heure pendant le jour.	CARBONE brûlé par heure.
	gr.	gr.	gr.
A l'alimentation normale.	185,0	0,852	0,232
Privés d'aliments.......	185,0	0,429	0,117
Au régime du sucre.....	150,0	0,715	0,195
Au régime du beurre n° 1.	185,2	0,623	0,169
Id. n° 2.	157,2	0,548	0,149

Le raisonnement conduisait à prévoir que les oiseaux au régime des aliments respiratoires (sucre, beurre, etc.) se placeraient, pour la production de l'acide carbonique, entre les oiseaux au régime ordinaire et ceux à l'inanitiation. Les choses se sont à peu près passées ainsi. Cependant la tourterelle nourrie au sucre ne s'éloigne pas beaucoup, par la quantité de carbone qu'elle a brûlée, des tourterelles dont l'alimentation a été régulière. Dans le régime du beurre, au contraire, notablement moins d'acide carbonique a été produit. Il est peut-être permis d'expliquer cette différence en faisant remarquer que, dans ce dernier cas, la combustion de l'hydrogène de l'aliment est intervenue, ce qui ne devait pas arriver dans le régime du sucre où le carbone seul peut brûler. La composition chimique de ces deux substances permet tout au moins cette explication.

Passons maintenant aux phénomènes qu'ont présentés les tourterelles au régime du beurre. Elles fournissent aussi un argument puissant contre la production de la graisse par le sucre. Ces expériences ont été tentées dans la pensée qu'on n'obtiendrait pas plus de graisse par ce régime que dans l'état normal. Je me refusais à admettre qu'il fût possible à l'économie de modifier une substance grasse pour la mettre en réserve lorsque l'alimentation nulle, sous le rapport de l'azote, amenait une continuelle destruction du sang.

Les quantités de graisse trouvées à l'autopsie, et séparées par l'éther, comme il a été dit, se sont montrées bien inférieures à la moyenne normale, puisque, au lieu de 15,85 pour 100, on n'a obtenu, dans les trois expériences, que

	3,2
	7,3
	10,7
Moyenne.	7,1

Cette moyenne, chose singulière, se trouve être la même que celle du régime du sucre sans addition d'albumine.

On trouve, dans le tableau n° 2, les détails des expériences.

Je ferai remarquer ici que les oiseaux soumis à ce dernier régime ont toujours été maintenus saturés de beurre. Une partie du dernier repas se trouvait toujours dans le jabot quand on ingérait une nouvelle quantité de cette substance. Il suffisait de presser légèrement cet organe pour voir à l'instant sortir du beurre liquide par le bec. Les féces en contenaient constamment aussi en grande quantité, puisqu'en moyenne, sur 148 grammes de beurre ingéré dans toute la durée de l'expérience, chaque tourterelle en rendait par cette voie 41 grammes.

Comment admettre maintenant la production de la graisse par le sucre? N'est-on pas amené irrésistiblement, au contraire, à conclure que le sucre, dans les circonstances en question, ne peut se métamorphoser en graisse, et être en cet état mis en réserve par l'économie, puisque le beurre lui-même, matière grasse et alimentaire par excellence, ne peut seulement empêcher la destruction de la graisse qui existait naturellement dans l'organisme?

Je terminerai en citant quatre expériences, qui tendent à prouver que le sucre de canne n'est une substance délétère, comme le pense M. Chossat, que par l'énorme quantité qu'on en donne. Elles montreront aussi que le sucre de lait à haute dose est d'un effet bien plus pernicieux encore.

On a donné à deux tourterelles, par jour, 18 grammes de sucre de lait. Elles ont eu presque immédiatement des selles excessives et une soif continuelle. Elles moururent avant la fin du troisième jour. La moyenne que j'ai donnée de la durée de la vie au sucre de canne est de onze jours environ. Elles avaient perdu : la première, 39 grammes; la deuxième, 40 grammes dans ce court espace de temps,

et étaient déjà fort amaigries. On s'est contenté de peser la peau et la graisse qu'on a pu recueillir. Leur poids a été de 6 grammes chez l'une, et de 13 grammes chez l'autre. Le procédé par l'éther aurait encore donné un résultat plus faible.

Une troisième tourterelle reçut alors 12 grammes de sucre de lait au lieu de 18. Les mêmes phénomènes se présentèrent, mais avec un peu moins d'intensité. La vie se prolongea jusqu'au commencement du cinquième jour, où je la trouvai chancelant sur ses pattes. Elle serait morte quelques heures après.

Je ne donnai plus que 6 grammes de sucre de lait à une quatrième tourterelle. Les selles, comme chez les précédentes, devinrent presque immédiatement liquides, quoique bien moins abondantes. A la fin du neuvième jour, elle était encore fort vive et volait facilement. Elle avait déjà dépassé la moyenne de la durée de la vie qui a lieu dans l'inanitiation, et son poids avait diminué chaque jour dans un rapport moins considérable. Je cessai l'expérience vers le milieu du dixième jour.

En résumé, dans les circonstances indiquées, je me crois fondé à conclure de ces expériences :

1°. Que le sucre de canne ne favorise pas la production de la graisse (le sucre de lait paraît encore plus défavorable);

2°. Que le beurre et probablement aussi les autres matières grasses ne sont pas mis en réserve par l'économie quand ils sont donnés comme unique aliment;

3°. Qu'un aliment insuffisant prolonge la vie et diminue les pertes journalières, pourvu qu'il ne soit pas ingéré à des doses trop élevées.

NUMÉROS des expériences.	POIDS DU CORPS sans les plumes.		POIDS des plumes.	PERTE intégrale.		PERTE journalière.		GRAISSE trouvée à la mort.		DURÉE de la vie.	ALIMENTS donnés par jour.	ALIMENTS consommés par jour.	FÈCES.
	initial.	final.		en gram.	proport.	en gram.	proport.	en gram.	proport.				
Tourterelles au régime du sucre.													
	gr.	gr.	gr.	gr.		gr.	gr.	gr.		jours.	gr.	Déd. faite du sucre revomi. gr	
1.	122,2	80,0	12,0	42,2	0,345	6,8	0,055	3,9	0,032	6,17	13,0	12,0	Toutes sont colorées en vert et glaireuses.
2.	149,2	84,6	11,0	64,6	0,433	4,1	0,027	4,6	0,031	15,92	13,0	12,0	Assez abondantes.
3.	155,6	108,5	11,5	47,1	0,302	3,8	0,024	23,0	0,148	12,30	16,0	14,0	Très-abondantes.
4.	169,8	108,0	14,0	61,8	0,364	5,1	0,030	10,6	0,062	12,00	16,0	14,0	Peu abondantes.
5.	152,3	109,8	15,2	47,5	0,312	5,8	0,038	14,5	0,095	8,17	13,0	13,0	Modérées. Modérées.
Moyennes.	149,8	98,2	12,7	52,6	0,351	5,1	0,0348	11,3	0,0736	10,91	14,2	13,0	
Tourterelles au régime du sucre et de l'albumine.													
1.	146,2	112,9	11,6	33,3	0,228	2,2	0,015	5,5	0,037	14,67	10 grammes de sucre et 12 grammes d'albumine.	10 grammes de sucre et 12 grammes d'albumine.	Fèces modérées contenant beaucoup de matière urinaire.
2.	128,2	81,0	12,0	47,2	0,368	2,4	0,019	3,4	0,026	19,67			
Moyennes.	137,2	96,95	11,8	40,25	0,298	2,3	0,017	4,45	0,0315	17,17			
Tourterelles au régime du beurre.													
												Déd. faite du beurre cont. dans les fèces.	gr.
1.	137,7	94,2	11,3	43,5	0,316	2,8	0,0207	14,7	0,107	15,25	9,5	6,4	47,0 Beurre retiré des fèces réunies.
2.	145,2	84,0	12,0	61,2	0,421	3,1	0,0214	4,6	0,032	19,50	7,5	5,1	47,0
3.	170,0	92,8	15,2	77,2	0,454	3,8	0,0223	12,4	0,073	20,50	7,5	6,0	30,0
Moyennes.	150,9	90,3	12,8	60,6	0,397	3,25	0,0214	10,57	0,0707	18,42	8,17	5,8	41,3
Tourterelles privées d'aliments, ayant de l'eau à volonté.													
1.	127,4	68,2	11,0	59,2	0,465	8,31	0,0655	1,9	0,0149	7,12	"	"	En petite quantité. Composées principalement de matière urinaire. Un peu
2.	154,6	89,2	13,8	65,4	0,464	6,77	0,0437	1,8	0,0116	9,66	"	"	
Moyennes.	141,0	78,7	12,4	62,3	0,454	7,54	0,0546	1,85	0,0132	8,39	"	"	

DES LOIS QUI PRÉSIDENT A LA DÉCOMPOSITION ÉLECTRO-CHIMIQUE DES CORPS ;

PAR M. EDMOND BECQUEREL.

(Mémoire présenté à l'Académie des Sciences, le 4 mars 1844.)

PREMIÈRE PARTIE.

Une combinaison de deux ou plusieurs éléments ne peut se laisser traverser par un courant électrique sans être décomposée, de sorte que la conductibilité électrique des dissolutions est intimement liée avec leur pouvoir décomposant. Je ne crois pas devoir revenir sur cette loi qui a été bien établie par les travaux de M. Faraday et de mon père. Mais par cela même que la combinaison qui sert à transmettre le courant est décomposée, il faut savoir si cette décomposition a lieu en proportions définies, suivant la théorie chimique des équivalents; car les conséquences qu'on peut déduire de ce principe sont très-importantes pour la constitution moléculaire des corps.

M. Faraday a montré qui si l'on transmet le même courant à travers plusieurs dissolutions, par exemple, de nitrate d'argent, de nitrate de cuivre, de nitrate de plomb, etc... (en réunissant les appareils décomposants, comme l'indique la *fig.* 8, *Pl. II,* par les pôles de nom contraire), on trouve aux pôles négatifs des quantités de métal proportionnelles à leurs équivalents chimiques; ainsi que pour 395,7 de cuivre précipité au pôle négatif, dans le premier appareil, on a 1351,61 d'argent dans le deuxième, et 1294,5 dans le troisième appareil décomposant, ces trois nombres étant les équivalents chimiques de ces métaux.

On ne peut pas conclure immédiatement de ces expériences que des quantités atomiques équivalentes de ces sels ont été décomposées par le courant ; car on peut objecter que le dépôt métallique, au lieu d'être le résultat direct de la décomposition électro-chimique du sel,

est dû à une action secondaire provenant de la décomposition d'une même quantité d'eau dans les différents appareils, et à la réduction, par l'hydrogène à l'état naissant aux pôles négatifs, de quantités proportionnelles de métal. Nous verrons, dans le courant de ce Mémoire, que si cet effet secondaire a lieu quelquefois, on ne l'observe pas dans la plupart des cas.

Le seul moyen de soumettre cette loi à un examen rigoureux serait de prendre les combinaisons anhydres et fondues; mais, outre la difficulté qu'on éprouve à opérer à une haute température, il n'y a que peu de corps qui se prêtent à ce mode d'expérimentation, et, le plus souvent, le métal qui se précipite au pôle négatif est altéré, soit par la combinaison que l'on soumet à l'action du courant, si ce n'est pas un protosel, soit par l'élément électro-négatif qui se porte au pôle positif et se dissout dans la masse fondue.

Au surplus, nous verrons plus loin qu'il y a des solutions aqueuses dans lesquelles le sel dissous est seul décomposé, et que, dans d'autres circonstances, à l'aide d'un principe trouvé par mon père, on peut parvenir à se garantir de la décomposition de l'eau en augmentant de beaucoup la masse du corps dissous par rapport à celle-ci. (Becquerel, *Traité d'Électricité*, tome VI.)

M. Matteucci (*Bibliothèque universelle de Genève*, 1839, tome XXI) a entrepris quelques expériences pour savoir jusqu'à quel point on pouvait compter sur la loi donnée par M. Faraday, en faisant passer le courant à travers des combinaisons maintenues à l'état de fusion; M. Matteucci a reconnu qu'on pouvait analyser les effets produits avec le protochlorure d'antimoine, mais nullement avec les deux chlorures de cuivre, parce que ces deux dernières substances, à l'état de fusion, attaquaient le cuivre métallique précipité au pôle négatif. A l'aide des expériences faites sur ces trois corps, l'un (le protochlorure d'antimoine) fondu, les deux

autres en dissolution dans l'eau, il a cru pouvoir modifier comme il suit la loi de M. Faraday :

« Si un courant électrique décompose simultanément » trois combinaisons mises séparément sur sa route, la » première renfermant 1 équivalent d'un corps combiné » avec 1 équivalent d'un autre corps; la deuxième, 1 équi- » valent combiné avec 2 équivalents ; la troisième, 1 équi- » valent combiné avec 3 équivalents (exemples, les deux » chlorures de cuivre et le protochlorure d'antimoine), on » trouve que l'action chimique sur chacune de ces combi- » naisons, mesurée par la quantité d'éléments séparés, varie » comme 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{6}$. »

M. Matteucci n'a établi cette loi que parce qu'il a trouvé aux pôles négatifs, dans les trois expériences, 1 équivalent de cuivre, 2 équivalents de cuivre et $\frac{1}{3}$ d'équivalent d'antimoine. Mais de ces trois expériences, comme je le démontrerai par un grand nombre de résultats, les deux premières seules sont exactes; dès lors, les conclusions précédentes doivent être modifiées. M. Matteucci a publié en outre plusieurs Mémoires où il a examiné l'action décomposante de l'électricité sur plusieurs sels fondus, comme je le dirai plus loin ; mais les résultats ne l'ont conduit à aucune loi simple.

Les recherches dont je viens de parler sont les seules qui aient été faites sur ce sujet. On peut voir, du reste, qu'elles étaient trop incomplètes pour pouvoir donner des résultats sur lesquels l'électro-chimie pût compter. C'est ce motif qui m'a engagé à reprendre cette question. J'ai d'abord été arrêté quelque temps, parce que voulant opérer sur des combinaisons anhydres fondues, les résultats ne m'ont semblé satisfaisants que dans très-peu de circonstances, d'après ce que j'ai dit précédemment ; mais je n'ai pas tardé à voir que, dans certains cas, en employant des solutions aqueuses, la décomposition électro-chimique, quoique ayant toujours lieu en proportions définies, se portait entièrement sur le sel

dissous, de sorte que j'ai pu opérer avec toute sécurité sur ces dissolutions.

CHAPITRE Ier.

DES COMBINAISONS BINAIRES.

§ I. — *Des chlorures métalliques.* — J'ai commencé par examiner l'action du courant sur les combinaisons binaires, et, parmi celles-ci, j'ai pris les chlorures métalliques, comme étant celles qui se prêtent le mieux à l'action décomposante de l'électricité. Ces combinaisons, en effet, permettent de doser le métal qui se précipite au pôle négatif et le chlore qui se porte au pôle positif.

Parmi les chlorures métalliques, quelques-uns sont fondus, et, lorsqu'ils sont fondus, se laissent traverser par le courant. On peut citer les chlorures de plomb, d'argent, les deux chlorures de cuivre, le protochlorure d'antimoine; d'autres, tels que le perchlorure d'étain, d'antimoine, de manganèse, de titane, etc., sont liquides à la température ordinaire, mais non conducteurs de l'électricité. Pour tous les chlorures fondus, j'ai constamment remarqué qu'à moins que l'on opérât très-rapidement en faisant usage d'un courant assez énergique, capable de donner 2 à 3 centimètres cubes de gaz par minute dans le voltaïmètre placé sur la route du courant, le chlore qui se porte au pôle positif reste en partie dans la masse, et vient attaquer le métal précipité au pôle négatif; je n'ai pu avoir alors des résultats satisfaisants. J'ai donc été forcé de prendre ces substances en solutions dans différents liquides, et de chercher à séparer les deux lames décomposantes en les mettant dans deux vases différents.

Voici la disposition que j'ai adoptée (voyez *Pl. II, fig.* 1 et 2): AB est le plateau d'une machine pneumatique sur lequel repose une cloche ACB munie d'un robinet en C, et percé de deux ouvertures en F et G qui permettent d'intro-

duire le fil métallique dans l'intérieur de la cloche ; sur AB on place deux petits verres de 20 centim. cubes à peu près, et qui sont destinés à recevoir le liquide sur lequel on veut expérimenter ; les liquides des deux vases communiquènt l'un avec l'autre à l'aide d'un petit siphon *abc*, qu'on amorce quand les vases sont remplis. Deux tubes pleins de mercure, *m*, *m'*, sont placés à côté des deux verres, et servent à faire communiquer deux lames décomposantes *l*, *l'*, qui plongent dans les verres avec les fils métalliques qui traversent la cloche en F et G. La lame négative est généralement de platine, et l'autre peut être de différents métaux. Du reste, dans chaque circonstance, j'indiquerai la nature de ces lames décomposantes. A l'aide de cette disposition, on peut décomposer un liquide placé dans les deux vases, et les éléments transportés aux deux pôles restent dans chacun de ces vases. Pour maintenir les lames fixes dans les vases, et empêcher que de légers mouvements ne fassent tomber des dépôts métalliques peu cohérents (comme cela arrive avec le plomb), une disposition assez commode est de mettre sur le bord des vases deux bouchons D, E fendus qui pincent les fils de platine contre les bords de ces vases.

Ce mode d'opérer peut généralement s'appliquer à tous les liquides conducteurs de l'électricité altérables à l'air ; car, après avoir fait le vide dans la cloche A*c*B, on peut y introduire un autre gaz. Cet appareil communique avec un voltaïmètre ou appareil à décomposer l'eau, *fig.* 2, dans lequel on recueille les deux gaz, oxygène et hydrogène, dans la même éprouvette. Ainsi, dans chaque circonstance, c'est la quantité d'eau décomposée, évaluée par le volume de gaz dégagé, qui mesure la quantité d'électricité qui passe dans un temps donné par l'appareil. Ce gaz, qui est un mélange d'hydrogène et d'oxygène, ramené à 0 degré et à $0^{m},76$ de pression, en faisant la correction relative à la vapeur d'eau, pèse $0^{mm},537$ pour

chaque centimètre cube; de sorte que, pour avoir la quantité d'eau décomposée, il suffit de mesurer le gaz en centimètres cubes, de ramener ce gaz à 0 degré et à $0^m,76$, et de multiplier le nombre obtenu par $0^{mm},537$.

C'est le meilleur procédé et le plus exact pour mesurer la quantité d'électricité qui traverse une solution dans un temps donné; car, lorsqu'on opère à l'aide de courants capables de donner au moins 1 ou 2 centimètres cubes de gaz par minute dans le voltaïmètre chargé avec de l'eau acidulée, la quantitéde gaz dissous par l'eau est inappréciable.

Il est nécessaire d'employer pour lames décomposantes dans le voltaïmètre, des lames de platine de 1 centimètre de largeur sur une longueur de 1 à 2 centimètres.

J'appellerai aussi équivalent d'électricité la quantité d'électricité sous forme de courant qui décompose 1 équivalent d'eau.

On a vu plus haut que dans les chlorures fondus, le chlore vient attaquer le métal qui se précipite, attendu qu'il faut maintenir ces sels à l'état de fusion. On ne peut donc pas employer l'appareil décrit plus haut. Dans ce cas, il faut placer simplement le sel dans un vase, tel que AB, *fig.* 3, ou dans une capsule, maintenir les deux électrodes au milieu de la masse, et opérer rapidement.

Comme exemple, et c'est cependant de tous les sels fondus celui qui se prête le mieux à ces recherches, je citerai une expérience faite avec le protochlorure d'antimoine anhydre $AnCl^3$ qui fond à une température assez basse.

En opérant avec une petite pile de 30 éléments faiblement chargée, on a eu en dix minutes 8 centimètres cubes de gaz dans le voltaïmètre, et 18 milligrammes d'antimoine au pôle négatif dans le protochlorure fondu; à 8 centimètres cubes de gaz mélangé correspond $8 \times 0^{millig.},537 = 4^{millig.},3$ d'eau décomposée.

Or, comme l'équivalent de l'eau est 112,5, et celui de l'antimoine 806,45, si 1 équivalent d'antimoine s'est déposé

au pôle négatif, on doit avoir pour le poids de ce métal 112,5 : 4,3 :: 806,45 : X, X = $30^{millig.}$,9.

Or, au lieu de $30^{millig.}$,9 on ne trouve que 18 milligram., c'est-à-dire un nombre un peu plus petit que les $\frac{2}{3}$ de $30^{millig.}$,9, qui est $20^{millig.}$,6.

Or, comme nous le verrons plus loin, en opérant sur une solution de ce corps dans l'acide chlorhydrique, on aurait dû trouver exactement $20^{millig.}$,6 ; près de 3 milligrammes ont donc été dissous par le chlore mis en liberté à l'autre pôle (1).

J'ai donc dû prendre les chlorures en solution dans l'eau ou dans les acides ; et si l'on a soin de ne mettre que la très-petite quantité d'eau nécessaire pour dissoudre les chlorures, alors, la masse du sel étant très-grande par rapport à celle de l'eau, l'action décomposante de l'électricité se porte généralement sur le chlorure, et nullement sur l'eau, lorsque le courant surtout est peu énergique ; ce qui le prouve, c'est qu'on voit le métal, ou un protosel, se porter au pôle négatif, et du chlore seul au pôle positif. Si l'eau était décomposée, il y aurait de l'oxygène ou de l'acide chlorique à ce pôle.

Ce résultat est une confirmation de la loi des masses trouvée par mon père, qui démontre que lorsqu'un courant traverse un mélange de deux sels décomposés par son action, si l'on augmente la masse du sel qui est le moins décomposable par rapport à l'autre, celui dont on augmente la masse est seul décomposé ; en outre, le rapport entre les masses est différent pour les divers sels, et varie avec l'intensité du courant. Avant de citer les résultats obtenus, on doit

---

(1) M. Matteucci, dans le Mémoire précédemment cité, a trouvé pour l'antimoine un nombre qui n'est que le $\frac{1}{3}$ de son équivalent, mais il a été évidemment trompé par l'effet dont j'ai parlé. S'il eût opéré sur le protochlorure d'antimoine dissous dans l'eau acidulée (beurre d'antimoine), il eût trouvé au pôle négatif un nombre qui est les $\frac{2}{3}$ de l'équivalent de l'antimoine.

établir une distinction entre les chlorures et les classer en protochlorures et perchlorures.

Protochlorures. — Les protochlorures dissous, soumis à l'action du courant, sont en général décomposés immédiatement; le métal se précipite au pôle négatif, et le chlore se dégage au pôle positif. On peut donc, en employant un courant de moyenne intensité, capable de donner de 0$^{c.c.}$,5 à 2 centimètres cubes de gaz par minute, avoir le métal au pôle négatif et le doser.

Pour cela, quand la lame de platine recouverte de métal est séchée avec soin, on la tare dans une balance, on dissout dans un acide, et l'on voit la quantité de métal enlevé.

J'ai ainsi obtenu les résultats consignés dans le tableau suivant:

Protochlorures. — L'équivalent du chlore est $Cl^2 = 442,66$.

COMBINAISONS.	POIDS atomique du métal.	GAZ dégagé dans le voltaïmètre.	POIDS du métal précipité au pôle négatif. Par expérience.	Par le calcul.	OBSERVATIONS.
Protochlorures. RCl^2, formés de 1 équivalent de radical et de 1 équivalent de chlore.					
		cent. cub. millim.	millim.	millim.	
Protochlorure d'étain $SbCl^2$...	Sb = 735,29	7,1 = 3,81	25,0	24,9	En solution dans l'eau.
Chlorure d'argent $AgCl^2$......	Ag = 1351,61	2,4 = 1,29	16,5	15,5	En solution dans l'ammoniaq.
Protochlorure de fer $FeCl^2$....	Fe = 339	2,8 = 1,5	5,0	4,6	En solution dans l'eau.
Protochlorures. R^2Cl^2.					
Protochlorure de cuivre Cu^2Cl^2.	Cu = 395,70	3,6 = 1,93	13,5 dont la moitié est 6,75	6,78	En solution dans l'acide chlorhydrique.
Protochlorures. RCl^3.					
Protochl. d'antimoine $AnCl^3$.. Première expérience....	Ant. 806,45	20,5 = 11	51,5	78,8 $\frac{2}{3}$ 78,8 = 52,5	En solution dans l'acide chlorhydrique étendu.
Seconde expérience.....	*Id.*	2,4 = 1,29	6,0	9,2 $\frac{2}{3}$ 9,2 = 6,1	Id.

Les protochlorures RCl^2 formés de 1 équivalent de base et de 1 de chlore donnent, au pôle négatif, exactement 1 équivalent de métal pour 1 équivalent d'électricité.

Les protochlorures R^2Cl^2 formés de 2 équivalents de métal pour 1 de chlore donnent, au pôle négatif, exactement le double de 1 équivalent du métal.

Les protochlorures RCl^3 donnent, au pôle négatif, exactement les $\frac{2}{3}$ de l'équivalent de la base.

Pour calculer ces nombres, on fait en sorte, comme dans la page 168, que les nombres x de la cinquième colonne soient donnés par la formule

$$112,5 : y :: R : x \qquad x = \frac{Ry}{112,5},$$

y étant le nombre de la colonne 3 et R l'équivalent indiqué colonne 2.

Dans toutes ces différentes expériences, on peut se convaincre que si la solution est saturée de chlorure, ce sel seul est décomposé puisqu'il ne se dégage que du chlore au pôle positif. Une des manières de le prouver est de mettre comme lame positive une lame de métal oxydable, tel que du cuivre, et d'opérer, par exemple, avec le protochlorure d'étain et celui de cuivre; on voit alors cette lame perdre exactement de son poids ce qu'il faut pour reformer du protochlorure de cuivre, en proportion avec le chlorure décomposé.

La loi de décomposition déduite de ces expériences n'est pas celle de M. Faraday, puisque des quantités de métal proportionnelles aux équivalents ne se déposent pas au pôle négatif; mais elle est plus simple, puisqu'elle revient à dire que dans chaque cas 1 équivalent de chlore a été transporté au pôle positif pour 1 équivalent d'électricité.

En effet, les trois chlorures

$$R\,Cl^2$$
$$R^2Cl^2$$
$$R\,Cl^3$$

pour 1 équivalent de chlore deviennent

$$R\ Cl^2$$
$$R^2\ Cl^2$$
$$R^{\frac{2}{3}}\ Cl^2,$$

et les quantités de bases sont 1, 2, $\frac{2}{3}$, comme l'expérience le donne.

On pourrait dire que cet effet est le même que si l'eau seule avait été décomposée et que la réduction du métal eût été le résultat de l'action décomposante de l'hydrogène transporté au pôle négatif; mais alors on n'aurait pas eu de chlore au pôle positif, et le protochlorure d'antimoine anhydre fondu n'aurait pas conduit au même résultat.

Perchlorures. — Examinons maintenant ce qui a lieu avec les perchlorures. Suivant que l'intensité du courant est plus ou moins grande, les résultats sont différents; il se dépose seulement du métal au pôle négatif, ou bien il se forme à ce même pôle un protochlorure, soit directement, soit par l'action chimique secondaire du perchlorure sur le métal précipité. Il est donc très-difficile de doser le métal, car la précipitation se complique d'effets secondaires; mais comme au pôle positif il se porte toujours du chlore, il faut doser le chlore au lieu du métal.

Le procédé qui m'a réussi le mieux est le suivant: on prépare la solution de chlorure dont on veut faire usage, de façon qu'elle soit la moins acide possible, et on dose le chlore par le cuivre. On emploie pour cela soit l'appareil, *fig.* 1 et 2, soit le tube en U, *fig.* 4; on met au pôle négatif une lame de platine, et au pôle positif une lame de cuivre pesée. On opère rapidement, et alors on observe une perte de poids dans le cuivre, correspondant au chlore qui s'est porté sur cette lame. Cette perte de poids indique la formation du protochlorure de cuivre.

Si l'on fait usage du bichlorure d'étain, on voit le protochlorure blanchâtre de cuivre sur la lame positive qu'on dissout en lavant celle-ci dans l'eau faiblement acidulée par

l'acide chlorhydrique. Mais si l'on fait usage du perchlorure de fer ou d'antimoine, le protochlorure de cuivre, une fois formé sur la lame, se transforme en bichlorure et se dissout; mais c'est une action secondaire, et la perte de poids du cuivre correspond toujours à la formation du protochlorure.

Du reste, il faut s'assurer si pendant le temps que dure l'expérience, et qui est de quelques minutes, une lame seule ne perd pas de poids dans une solution semblable à celle soumise à l'expérience; c'est après cet essai préliminaire que l'on peut seulement employer la solution de perchlorure.

J'ai ainsi fait usage des différents chlorures mentionnés dans le tableau suivant :

Perchlorures.

COMBINAISONS.	GAZ dégagé dans le voltaïmètre.	PERTE du cuivre au pôle positif.	CHLORE correspondant.	CHLORE par le calcul.	OBSERVATIONS.
	c.c. mill.	millim.	millim.	millim.	
Bichlorure de cuivre $CuCl^2$........	5,25=2,83	23	12,9	11,1	En solution dans l'eau.
Perchlorure de fer $FeCl^3$........	4,35=2,34	18	10	9,2	En solution dans l'eau.
Bichlorure d'étain $StCl^4$........	4,35=2,34	16	9	9,2	En solution dans l'eau.
Perchl. d'antimoine $AnCl^5$	6,5 =3,44	24	13,2	13,5	Dissous dans l'ac. tartrique étendu.

On peut voir, à l'inspection de ce tableau, que l'on a les mêmes résultats que précédemment; c'est donc la quantité de chlore transporté au pôle positif qui est toujours la même pour un même courant.

Il résulte de là que, quel que soit le composé qui se porte au pôle négatif, soit un métal, soit un protochlorure pro-

venant de la décomposition directe du perchlorure, ou de l'action chimique secondaire de ce dernier sur le métal précipité, on trouve toujours la même quantité de chlore au pôle positif. Ainsi la proportion de l'équivalent du métal transporté au pôle négatif dans ces différents sels pour le même courant doit donc être comme les nombres $1, \frac{2}{3}, \frac{1}{2}, \frac{2}{5}$, qui représentent les équivalents de la base dans les chlorures $Cu\,Cl^2$, $Fe\,Cl^3$, $St\,Cl^4$, $An\,Cl^5$, lorsqu'on ramène ces formules à avoir le même équivalent de chlore de la manière suivante :

$$Cu\,Cl^2,\ Fe^{\frac{2}{3}}\,Cl^2,\ St^{\frac{1}{2}}\,Cl^2,\ An^{\frac{2}{5}}\,Cl^2.$$

M. Matteucci avait déjà trouvé pour le premier chlorure, le perchlorure de cuivre, que, lorsqu'on avait au pôle négatif du cuivre métallique, il se déposait la moitié moins de cuivre qu'avec le protochlorure. C'est, en effet, ce qui doit avoir lieu.

Iodures. — En opérant à l'aide de quelques iodures, comme l'iodure d'argent, de zinc, etc., on trouve les mêmes effets qu'avec les chlorures ; seulement il faut avoir soin de se mettre en garde contre les effets secondaires, c'est-à-dire contre les produits que les corps transportés sur les lames décomposantes peuvent former avec quelques-uns des éléments des dissolutions ; car, sans cela on serait induit en erreur sur le véritable effet du courant électrique.

Pour citer un effet de ces actions secondaires, je n'ai qu'à mentionner ce qui se passe avec les chlorures de sodium, de potassium, etc.

Lorsqu'ils sont en solution dans l'eau au pôle négatif, il se dégage de l'hydrogène si le courant a une certaine énergie, et il se dépose autour de la lame, de la potasse, ou de la soude, tandis qu'au pôle positif on trouve du chlore, et quelquefois de l'oxygène mélangé avec ce corps, suivant l'intensité du courant. Si le courant n'a qu'une énergie suffisante pour décomposer le chlorure de sodium sans dé-

composer l'eau, le chlore se porte à un pôle et le sodium à l'autre ; mais comme le sodium ne peut exister en présence de l'eau, celle-ci est décomposée, il se forme de la potasse, et de l'hydrogène se dégage. Le résultat final est donc 1 équivalent de soude et d'hydrogène au pôle négatif et 1 équivalent de chlore au pôle positif; mais si le courant a une énergie suffisante pour décomposer en même temps l'eau, on trouve de l'oxygène mêlé au chlore au pôle positif; on a moins de soude au pôle négatif, mais la même quantité d'hydrogène se dégage, car la somme des quantités de chlorure et d'eau décomposée doit toujours faire 1 équivalent. Ainsi, pour m'exprimer en chiffres, je dirai :

Si dans le voltaïmètre on a $M(H^2O)$ d'eau de décomposée, M étant une constante, alors si le chlorure de sodium est décomposé, il s'en décompose $M(Na\,Cl^2)$, de sorte qu'avec l'action secondaire le résultat final est :

Au pôle négatif.	Au pôle positif.
$M\,NaO + M\,H^2$;	$M\,Cl^2$;

tandis que si l'eau et le chlorure sont décomposés en même temps, en supposant qu'il y ait n de chlorure et n' d'eau de décomposée, on a toujours $n + n' = M$, et le résultat finl est :

Au pôle négatif.	Au pôle positif.
$n(NaO) + nH^2 + n'H^2 \ldots$;	$n\,Cl^2 + n'O$,

c'est-à-dire

$n(NaO) + M\,H^2 \ldots$,	$n\,Cl^2 + n'O$.

On voit par là comment peut se produire un effet secondaire, et que ce que j'avais avancé est vrai.

Les bromures conduiraient au même résultat que les chlorures et iodures métalliques.

On voit donc que la décomposition directe de ces combinaisons binaires nous conduit à cette loi remarquable :

« Lorsqu'un chlorure, un iodure, ou un bromure mé-
» tallique est décomposé directement par l'action du cou-
» rant, la décomposition se fait toujours en proportions

» définies, de telle sorte que pour 1 équivalent d'électricité » qui passe dans la combinaison il se transporte toujours » 1 équivalent de l'élément acide au pôle positif et la quan- » tité correspondante de base au pôle négatif. »

§ II. — *Des oxydes.* — Les oxydes métalliques ne se prêtent pas aussi bien que les chlorures à l'action décomposante de l'électricité. Plusieurs à la vérité sont fusibles, mais on trouve encore ici les mêmes inconvénients à les employer fondus, que les chlorures. Il faut donc opérer quand ils sont dissous. Or, il est très-difficile d'avoir de simples solutions d'oxyde sans combinaison; et, lorsque cette difficulté est vaincue, comme le résultat final de l'action décomposante du courant est un dépôt métallique au pôle négatif, et de l'oxygène au pôle positif, on ne peut décider l'alternative, savoir si la réduction du métal est due à l'action directe du courant ou à l'action secondaire provenant du transport de l'hydrogène de l'eau décomposée.

On ne peut donc pas s'appuyer sur les oxydes aussi bien que sur les chlorures pour trouver les lois de l'action décomposante de l'électricité. Il est facile de voir cependant, en en soumettant quelques-unes à l'expérience, que les résultats obtenus s'expliquent très-bien d'après la loi posée plus haut. En effet, prenons pour exemple les deux oxydes de cuivre en solution dans l'ammoniaque. Pour assurer le succès de l'expérience il ne faut employer que le courant provenant d'un seul couple cuivre-zinc, faiblement chargé, et opérer hors du contact de l'air avec l'appareil représenté *fig.* 6, composé d'un flacon hermétiquement fermé, dans le bouchon duquel passent deux tubes de verre C', D', et de deux fils de platine traversant ces tubes à l'extrémité desquels sont attachées deux lames *l*, *l'*, l'une de platine servant d'électrode négatif, et l'autre de cuivre servant d'électrode positif.

On place la solution ammoniacale dans le flacon, et on fait passer le courant pendant plusieurs heures. Pour me-

surer la quantité d'électricité qui passe dans un temps donné, on ne peut plus employer les deux gaz provenant de la décomposition de l'eau, mais on prend un second appareil semblable à AB, *fig.* 6, dans lequel on met une dissolution de nitrate de deutoxyde de cuivre. Il se dépose 1 équivalent de cuivre pour 1 équivalent d'électricité. C'est donc un véritable voltaïmètre, mais dans lequel l'action se mesure à l'aide du cuivre déposé au pôle négatif.

En opérant ainsi, j'ai obtenu les résultats suivants :

COMPOSÉS.	MÉTAL déposé dans le voltaïmètre.	MÉTAL déposé au pôle négatif dans la combinaison.	OBSERVATIONS.
Première expérience. Protoxyde de cuivre Cu^2O........	milligr. 15	milligr. 30	En solution dans l'ammoniaque.
Seconde expérience. Protoxyde de cuivre Cu^2O........	2,5	5	Idem.
Bioxyde de cuivre CuO.........	106	107	Idem.

Ainsi, avec le protoxyde de cuivre, on a deux fois autant de métal que dans le voltaïmètre, tandis qu'avec le deutoxyde la quantité de métal précipité est la même ; cela revient à dire que la quantité d'oxygène transporté au pôle positif est la même pour un même courant, car pour 1 équivalent d'oxygène les formules des deux oxydes sont :

$$Cu^2O, \quad \text{et} \quad CuO;$$

Les volumes indiqués sont des dixièmes de centimètre cube.

EAU OXYGÉNÉE.		EAU ORDINAIRE.	
Première expérience.			
Gaz dégagé.		Gaz dégagé.	
	vol.		vol.
Pôle + oxyg.	18,5	Pôle + oxyg.	9,3
		Pôle — hydr.	18,6
		Total.....	28 vol.
Seconde expérience.			
Gaz dégagé.		Gaz dégagé.	
	vol.		vol.
Pôle + oxyg. =	26	Pôle + oxyg.	13,2
		Pôle — hydr.	26,3
		Total.....	39,5

On voit qu'il se porte au pôle positif exactement le double d'oxygène dans l'eau oxygénée que dans l'eau ordinaire, et au pôle négatif la même quantité d'hydrogène, puisque les formules de ces deux composés sont H^2O et H^2O^2.

Au premier abord cette loi paraît en contradiction avec celle que j'ai posée plus haut, puisqu'il se porte le double de l'équivalent au pôle positif; mais nous verrons dans le chapitre suivant comment l'on peut rendre compte de ce fait.

Les deux lois (1°) et (2°) qui ont été posées plns haut résument, à elles seules, tous les faits observés dans la décomposition électro-chimique des composés binaires, en s'en tenant aux effets directs, bien entendu.

Il n'est pas possible de vérifier directement ces lois sur toutes les combinaisons que la chimie nous présente, attendu que beaucoup d'entre elles ne sont pas conductrices, et que la conductibilité étant liée intimement avec le pouvoir de décomposition, on ne peut les soumettre à la décomposition électro-chimique directe; mais nous avons vu, surtout avec les perchlorures non conducteurs, que lorsque ces combinaisons sont en solution dans un liquide, elles sont alors décomposées par le courant et soumises aux mêmes lois.

En parlant de la conductibilité, je ne dois pas omettre de rappeler une loi qu'on a cru avoir observée, et qui est relative au pouvoir conducteur des corps fondus ou solides. On sait très-bien, d'après les travaux de M. Faraday et de mon père, qu'un liquide ne peut se laisser traverser par le courant sans être décomposé; dès lors s'il n'est pas conducteur, c'est qu'il ne se laisse pas décomposer par l'électricité. M. Faraday a vu, en outre, que les composés métalliques formés par la combinaison de 1 ou 2 équivalents avec un équivalent étaient conducteurs, tandis que les perchlorures, tels que le chlorure d'étain $St Cl^4$, etc., n'étaient pas conducteurs : de là on a conclu que généralement, lorsque les composés sont formés par la réunion de 1 équivalent d'un corps avec 1 ou 2 équivalents d'un autre, ils sont conducteurs, tandis que le contraire a lieu lorsque ce composé est formé par la combinaison de 1 équivalent avec 3, 4, 5 équivalents d'un autre corps.

Cette loi ne se vérifie pas toujours, puisqu'il y a des corps dont la composition est simple, tels que le chlorure de soufre, de carbone, qui ne sont pas conducteurs de l'électricité; d'une autre part, comme on sait que tous les éléments des corps sont conducteurs de l'électricité, puisque l'on peut les transporter tous sur des lames décomposantes lors des décompositions électro-chimiques; il faut

donc en conclure que la conductibilité dépend d'un arrangement moléculaire qui varie en vertu de causes que nous ne connaissons pas encore.

(La suite au numéro prochain.)

NOTE SUR LA PRÉPARATION DU SULFHYPOSULFATE DE POTASSE;

PAR M. MATHIEU PLESSY.

M. Langlois, auquel on doit la découverte de l'acide sulfhyposulfurique, obtient cet acide en combinaison avec la potasse, en faisant réagir du soufre sur le bisulfite de potasse. Voici comment opère M. Langlois : il prépare du bisulfite de potasse en faisant passer de l'acide sulfureux jusqu'à refus dans une solution de carbonate de potasse pur. Il introduit le sel ainsi obtenu dans un ballon renfermant de la fleur de soufre, et met le tout en digestion sur un bain de sable dont la température ne doit pas être assez élevée pour faire bouillir le mélange. Il se développe de l'acide sulfureux et se produit du sulfate; le liquide prend une teinte jaune. Au bout de trois ou quatre jours, lorsque la nouvelle combinaison s'est complétement formée, cette teinte jaune disparaît : c'est là un indice certain de la fin de l'opération. Le liquide, filtré à chaud, se trouble par le refroidissement, devient laiteux, et l'on obtient alors des cristaux recouverts d'un peu de soufre : on les purifie en les dissolvant dans très-peu d'eau tiède. La solution filtrée ne se trouble plus et fournit de fort beaux cristaux prismatiques.

M. Langlois a cru d'abord isoler l'acide hyposulfureux en décomposant ces cristaux par l'acide perchlorique; le

procédé qui les lui avait fournis, et qu'on vient de lire, étant celui prescrit alors pour la préparation de l'hyposulfite de potasse. Bientôt après, il a vu que l'acide qu'ils renferment ne présente pas la composition de l'acide hyposulfureux, qu'il est formé de 3 équivalents de soufre et de 5 équivalents d'oxygène.

Ainsi, lorsqu'on dissout le soufre dans le bisulfite, on obtient un liquide qui laisse déposer une quantité de soufre à l'ébullition, et ne donne qu'une petite quantité de sulfhyposulfite de potasse et d'un hyposulfite impur. La réaction ne se fait donc pas comme on le croyait d'abord, et bien qu'il se dégage de l'acide sulfureux, dans les circonstances où s'est placé M. Langlois, on n'a pas

$$KO\,(SO_2)^2 + S = KOS_2O_2 + SO_2.$$

Ce dégagement d'acide sulfureux observé par M. Langlois ne se fait pas toujours. Ainsi, à 25 ou 30 degrés, il n'a pas lieu, et cependant le soufre se dissout dans le bisulfite.

Si le bisulfite de potasse ne peut pas servir à la préparation de l'hyposulfite, le sulfite neutre convient parfaitement à cette préparation.

Je vais indiquer en peu de mots le procédé que j'ai suivi pour préparer l'hyposulfite de potasse au moyen du sulfite neutre. Il ne sera peut-être pas inutile de le faire connaître, puisqu'il permet d'obtenir également pur l'hyposulfite de soude, qui est l'objet d'une consommation assez importante.

On prépare du bisulfite de potasse comme je l'ai indiqué plus haut, et lorsqu'il ne se dégage plus d'acide carbonique, que l'acide sulfureux traverse le liquide sans se dissoudre, sa saturation est achevée, et le carbonate de potasse est transformé en bisulfite. On ramène alors ce sel à l'état de sulfite neutre, en ajoutant du carbonate de po-

» définies, de telle sorte que pour 1 équivalent d'électricité » qui passe dans la combinaison il se transporte toujours » 1 équivalent de l'élément acide au pôle positif et la quan- » tité correspondante de base au pôle négatif. »

§ II. — *Des oxydes.* — Les oxydes métalliques ne se prêtent pas aussi bien que les chlorures à l'action décomposante de l'électricité. Plusieurs à la vérité sont fusibles, mais on trouve encore ici les mêmes inconvénients à les employer fondus, que les chlorures. Il faut donc opérer quand ils sont dissous. Or, il est très-difficile d'avoir de simples solutions d'oxyde sans combinaison; et, lorsque cette difficulté est vaincue, comme le résultat final de l'action décomposante du courant est un dépôt métallique au pôle négatif, et de l'oxygène au pôle positif, on ne peut décider l'alternative, savoir si la réduction du métal est due à l'action directe du courant ou à l'action secondaire provenant du transport de l'hydrogène de l'eau décomposée.

On ne peut donc pas s'appuyer sur les oxydes aussi bien que sur les chlorures pour trouver les lois de l'action décomposante de l'électricité. Il est facile de voir cependant, en en soumettant quelques-unes à l'expérience, que les résultats obtenus s'expliquent très-bien d'après la loi posée plus haut. En effet, prenons pour exemple les deux oxydes de cuivre en solution dans l'ammoniaque. Pour assurer le succès de l'expérience il ne faut employer que le courant provenant d'un seul couple cuivre-zinc, faiblement chargé, et opérer hors du contact de l'air avec l'appareil représenté *fig.* 6, composé d'un flacon hermétiquement fermé, dans le bouchon duquel passent deux tubes de verre C', D', et de deux fils de platine traversant ces tubes à l'extrémité desquels sont attachées deux lames *l*, *l'*, l'une de platine servant d'électrode négatif, et l'autre de cuivre servant d'électrode positif.

On place la solution ammoniacale dans le flacon, et on fait passer le courant pendant plusieurs heures. Pour me-

surer la quantité d'électricité qui passe dans un temps donné, on ne peut plus employer les deux gaz provenant de la décomposition de l'eau, mais on prend un second appareil semblable à AB, *fig.* 6, dans lequel on met une dissolution de nitrate de deutoxyde de cuivre. Il se dépose 1 équivalent de cuivre pour 1 équivalent d'électricité. C'est donc un véritable voltaïmètre, mais dans lequel l'action se mesure à l'aide du cuivre déposé au pôle négatif.

En opérant ainsi, j'ai obtenu les résultats suivants :

COMPOSÉS.	MÉTAL déposé dans le voltaïmètre.	MÉTAL déposé au pôle négatif dans la combinaison.	OBSERVATIONS.
Première expérience. Protoxyde de cuivre Cu^2O........	milligr. 15	milligr. 30	En solution dans l'ammoniaque.
Seconde expérience. Protoxyde de cuivre Cu^2O........	2,5	5	Idem.
Bioxyde de cuivre CuO.........	106	107	Idem.

Ainsi, avec le protoxyde de cuivre, on a deux fois autant de métal que dans le voltaïmètre, tandis qu'avec le deutoxyde la quantité de métal précipité est la même; cela revient à dire que la quantité d'oxygène transporté au pôle positif est la même pour un même courant, car pour 1 équivalent d'oxygène les formules des deux oxydes sont :

$$Cu^2O, \quad \text{et} \quad CuO ;$$

la liqueur filtrée un huitième de son volume d'alcool du commerce, à 84 degrés centésimaux; on chauffe encore un peu, et la solution abandonnée à elle-même fournit, par le refroidissement, de beaux cristaux prismatiques parfaitement purs. Ces cristaux sont des prismes quadrilatères terminés par des biseaux; leur saveur est légèrement salée et amère; par l'action de la chaleur, ils donnent de l'acide sulfureux, du soufre, et laissent un résidu de 64,36 de sulfate neutre de potasse; ils sont neutres et se dissolvent aisément dans l'eau.

Ces cristaux, en solution dans l'eau, sont décomposés par l'acide sulfurique, l'acide nitrique avec dépôt de soufre et dégagement d'acide sulfureux.

L'acide chlorhydrique ne les décompose pas; ils ne donnent pas de précipité avec les solutions de chaux, de baryte, de fer, de zinc, de magnésie, de nickel, etc. Elles décolorent le sulfate rouge de manganèse, et n'agissent pas sur une solution de sulfate de cuivre; ils précipitent en noir les sels de protoxyde de mercure, en bleu ceux de deutoxyde, et donnent, avec le nitrate d'argent, un précipité blanc-jaunâtre : ce précipité noircit bientôt. D'après cela, on voit que le sel en question jouit de toutes les propriétés du sulfhyposulfate de potasse.

L'eau-mère des cristaux dont je viens de faire connaître les propriétés, se trouble et donne un dépôt de soufre lorsqu'elle est chauffée à une température qui ne décomposerait point une solution de sulfhyposulfate de potasse, et par l'addition de l'alcool concentré, elle laisse déposer un sel dans lequel on distingue des cristaux dont la forme cristalline diffère de celle que possède le sulfhyposulfate.

M. Gélis, auquel je fis part de ces observations, me dit que les cristaux devaient être de l'hyposulfate bisulfuré, puisque ce sel se produit aussi par la réaction de l'acide sulfureux sur l'hyposulfite.

Lorsque M. Gélis m'apprit ainsi qu'il étudiait aussi cette

réaction, je n'avais pu encore que déterminer approximativement la quantité d'acide sulfureux absorbée par un poids donné d'hyposulfite. J'avais vu, sans être toutefois certain de mes résultats, que l'absorption se faisait dans le rapport de

$$2(S_2O_2KO) + 3(SO_2).$$

Lorsqu'on opère sur des liqueurs concentrées, on se rappelle qu'il se produit un dépôt de soufre. Il était important de savoir si ce dépôt se fait toujours lorsqu'on prend des solutions peu concentrées. J'ai vu qu'il n'a pas lieu dans cette circonstance, et cependant il y a absorption d'acide sulfureux. MM. Gélis et Fordos ont pu faire avant moi l'analyse de la réaction qui se passe alors. Cette analyse les a conduits à l'équation suivante :

$$2(S_2O_2KO) + 3(SO^2) = S_3O_5KO + S_4O_5KO.$$

J'ai pu retirer l'hyposulfate bisulfuré de l'eau-mère d'où s'est déposé le sulfhyposulfate de potasse ; c'est un sel blanc peu stable, mais qui se conserve assez bien au contact de l'air, lorsqu'il est cristallisé et desséché.

Lorsque l'absorption de l'acide sulfureux par l'hyposulfite de potasse a déterminé la précipitation d'une certaine quantité d'hyposulfate sulfuré et d'hyposulfate bisulfuré de potasse, on trouve dans la liqueur du sulfate. Dans un Mémoire que MM. Gélis et Fordos publieront prochainement, ils diront à quelle cause on doit attribuer la formation de ce sel. J'ai vu qu'il se forme à l'abri du contact de l'air ; ainsi, lorsqu'on fait passer dans une cloche sur le mercure une solution récemment préparée d'acide sulfureux dans l'eau distillée bouillie, et ensuite une quantité suffisante d'hyposulfite cristallisé et qui ne contient point de sulfate, on trouve, après vingt-quatre heures de repos, lorsque l'absorption de l'acide sulfureux est complète, que la li-

queur donne, avec le chlorure de barium, un précipité qui ne se dissout pas entièrement dans l'acide chlorhydrique faible.

NOUVEAU MOYEN DE PRÉPARER LA COUCHE SENSIBLE DES PLAQUES DESTINÉES A RECEVOIR LES IMAGES PHOTOGRAPHIQUES. (Lettre à M. Arago.)

PAR M. DAGUERRE.

Vous avez bien voulu annoncer à l'Académie que j'étais arrivé, par une suite d'expériences, à reconnaître d'une manière certaine que, dans l'état actuel de mon procédé, la couche sensible à la lumière étant trop mince, elle ne pouvait fournir toute la dégradation de teintes nécessaire pour reproduire la nature avec relief et fermeté; en effet, quoique les épreuves obtenues jusqu'à ce jour ne manquent pas de pureté, elles laissent, à quelques exceptions près, beaucoup à désirer sous le rapport de l'effet général et du modelé (1).

C'est en superposant sur la plaque plusieurs métaux, en les y réduisant en poussière par le frottement et en acidulant les espaces vides que laissent leurs molécules, que je suis parvenu à développer des actions galvaniques qui permettent l'emploi d'une couche d'iodure beaucoup plus épaisse sans avoir à redouter, pendant l'opération de la lumière dans la chambre noire, l'influence de l'iode devenu libre.

(1) Sur la plaque décapée au moyen de la couche d'eau chauffée, comme je l'ai indiqué, on obtient très-rapidement des épreuves d'une grande finesse, mais qui manquent aussi de modelé, à cause du peu d'épaisseur de la couche sensible.

La nouvelle combinaison que j'emploie, et qui se compose de plusieurs iodures métalliques, a l'avantage de donner une couche sensible qui se laisse impressionner simultanément par toutes les valeurs de ton, et j'obtiens ainsi, dans un très-court espace de temps, la représentation d'objets vivement éclairés avec des demi-teintes qui conservent toutes, comme dans la nature, leur transparence et leur valeur relative.

En ajoutant l'or aux métaux dont je me servais d'abord, je suis parvenu à aplanir la grande difficulté que présentait l'usage du brome comme substance accélératrice. On sait que les personnes très-exercées pouvaient seules employer le brome avec succès et qu'elles n'arrivaient à obtenir le maximum de sensibilité que par hasard, puisque ce point est impossible à déterminer très-précisément, et qu'immédiatement au delà le brome attaque l'argent et s'oppose à la formation de l'image (1).

Avec mon nouveau moyen, la couche d'iodure est toujours saturée de brome, puisqu'on peut laisser sans inconvénient la plaque exposée à la vapeur de cette substance au moins la moitié en plus du temps nécessaire; car l'application de la couche d'or s'oppose à la formation de ce qu'on appelle *le voile de brome*. Il ne faut cependant pas abuser de cette facilité, car la couche d'or, étant très-mince, pourrait être attaquée, surtout si on l'avait trop usée par le polissage (2). On trouvera peut-être le procédé que je vais donner un peu

---

(1) Tout le monde sait que la vapeur sèche du brome est plus favorable que celle qu'on obtient au moyen de l'eau bromée, car cette dernière a l'inconvénient d'entraîner avec elle de l'humidité qui se condense à la surface de la plaque. L'emploi de l'huile que j'indique plus loin neutralise cet effet et donne à la vapeur du brome étendu d'eau la même propriété qu'à celle du brome sec.

(2) Cela est tellement vrai que, si l'on fait une épreuve sur une plaque qui a été fixée plusieurs fois, on peut la laisser à l'exposition de la vapeur du brome autant de fois en plus du temps nécessaire qu'elle a reçu de différentes couches d'or.

compliqué; mais, malgré le désir que j'avais de le simplifier autant que possible, j'ai été au contraire conduit, par les résultats de mes expériences, à multiplier les substances employées qui, toutes, jouent un rôle important dans l'ensemble du procédé. Je les regarde comme étant toutes nécessaires pour obtenir un résultat complet, et cela doit être, puisque ce n'est que graduellement que je suis arrivé à découvrir les propriétés de ces différents métaux, dont l'un aide à la promptitude, l'autre à la vigueur de l'épreuve, etc. (1).

Il naît du concours de ces substances une puissance qui neutralise tous les effets inconnus qui venaient si souvent s'opposer à la formation de l'image (2).

Je crois d'ailleurs que la science et l'art ne doivent pas être arrêtés par la considération d'une manipulation plus ou moins longue; on doit se croire heureux d'obtenir à ce prix de beaux résultats, surtout lorsque les moyens d'exécution sont faciles.

Car la préparation galvanique de la plaque ne présente aucune difficulté. L'opération se divise en deux parties principales : la première, qui est la plus longue, peut être faite très-longtemps à l'avance, et peut être considérée comme le complément de la fabrication de la plaque. Cette opération une fois faite, sert indéfiniment, et l'on peut, sans la recommencer, faire un grand nombre d'épreuves sur la même plaque.

Désignation des nouvelles substances.

Solution aqueuse de bichlorure de mercure (sublimé corrosif);

---

(1) Je veux dire seulement que l'emploi de tous les métaux que j'indique plus loin est indispensable; mais la manière de les appliquer peut varier.

(2) Car, en multipliant ces éléments comme dans une pile, on augmente cette puissance, et l'on parvient ainsi à faire agir dans le même temps les radiations les plus paresseuses, telles que celles du rouge et du vert.

Solution de cyanure de mercure;
Huile de pétrole blanche acidulée avec de l'acide nitrique;
Dissolution de chlorure d'or et de platine.

Préparation des substances.

Solution aqueuse de bichlorure de mercure (sublimé corrosif). — 5 décigrammes de bichlorure de mercure dans 700 grammes d'eau distillée.

Solution de cyanure de mercure. — On sature un flacon d'eau distillée de cyanure de mercure, et l'on en décante un volume quelconque, que l'on allonge d'une égale quantité d'eau distillée.

Huile de pétrole blanche acidulée (1). — On acidule cette huile en y mêlant un dixième en volume d'acide nitrique pur, qu'on y laisse au moins quarante-huit heures, en ayant soin d'agiter le flacon de temps en temps. On décante l'huile qui s'est acidulée, et qui rougit alors fortement le papier de tournesol. Elle s'est aussi un peu colorée, tout en restant très-limpide.

Dissolution de chlorure d'or et de platine. — Pour ne pas multiplier les dissolutions, j'ai pris pour point de départ le chlorure d'or ordinaire, qui sert à fixer les épreuves. On sait qu'il est composé de 1 *gramme de chlorure d'or et de 4 grammes d'hyposulfite de soude pour 1 litre d'eau distillée.*

---

(1) L'huile de pétrole la plus convenable est d'un ton jaune-verdâtre, et prend, sous différents angles, des reflets azurés.

J'ai donné la préférence à cette huile sur les huiles fixes, parce qu'elle reste toujours limpide, quoique fortement acidulée. Le but que je me propose en employant une huile acidulée est de réduire les métaux en poussière et de retenir cette poussière à la surface de la plaque, en même temps de donner plus d'épaisseur à la couche par ses propriétés onctueuses; car le naphte qui résulte de la distillation de cette huile ne produit pas le même effet, parce qu'étant trop fluide, il entraîne la poussière des métaux. C'est par cette même raison que j'ai conseillé dernièrement l'emploi de l'*essence de lavande,* plutôt que celui de l'essence de térébenthine.

Quant au chlorure de platine, il faut en faire dissoudre $2\frac{1}{2}$ décigrammes dans 3 litres d'eau distillée; on mêle ensuite ces deux dissolutions en égales quantités.

MANIÈRE D'OPÉRER.

Première préparation de la plaque.

Nota. — Pour être plus court dans la description qui va suivre, j'indiquerai chaque substance en abrégé. Ainsi je dirai, pour désigner la *solution aqueuse de bichlorure de mercure,* sublimé; pour la *solution de cyanure de mercure,* cyanure; pour l'*huile de pétrole acidulée,* huile; pour la *dissolution de chlorure d'or et de platine,* or et platine; et pour l'*oxyde de fer,* rouge seulement.

On polit la plaque avec du sublimé et du tripoli d'abord, et ensuite avec du rouge (1), jusqu'à ce qu'on arrive à un beau noir. Puis, on pose la plaque sur le plan horizontal et on y verse la solution de cyanure que l'on chauffe avec la lampe, absolument comme si l'on fixait une épreuve au chlorure d'or. Le mercure se dépose et forme une couche blanchâtre. On laisse un peu refroidir la plaque, et après avoir renversé le liquide, on la sèche en la frottant avec du coton et en la saupoudrant de rouge.

Il s'agit maintenant de polir la couche blanchâtre déposée par le mercure. Avec un tampon de coton imbibé d'huile et de rouge, on frotte cette couche juste assez pour qu'elle devienne d'un beau noir. On pourra, en dernier lieu, frotter assez fortement, mais avec du coton seul, pour amincir le plus possible la couche acidulée.

---

(1) Si je préfère, pour polir, le rouge aux autres substances, ce n'est pas que je lui reconnaisse une propriété photogénique, mais bien parce qu'il brunit mieux et qu'il aide à fixer la couche d'or qui n'est plus si susceptible de s'enlever par écailles lorsqu'on la chauffe trop.

Les plaques galvaniques, lorsqu'elles n'ont ni marbrures ni taches noires (ce qui arrivait quelquefois dans l'origine), reçoivent mieux que les autres l'application des métaux, et par conséquent le chlorure d'or y adhère plus fortement.

Ensuite on place la plaque sur le plan horizontal et on y verse la dissolution d'or et de platine. On chauffe comme à l'ordinaire ; on laisse refroidir et puis on renverse le liquide que l'on sèche, en frottant légèrement avec du coton et du rouge.

Il faut faire cette opération avec soin, surtout lorsqu'on ne doit pas continuer immédiatement l'épreuve ; car autrement, on laisserait sur la plaque des lignes de liquide, qu'il est toujours difficile de faire disparaître. Par ce dernier frottage la plaque ne doit être que séchée et non pas polie.

Ici se borne la première préparation de la plaque, celle qui peut être faite longtemps à l'avance.

Seconde préparation.

Nota. Je ne crois pas convenable de mettre entre cette seconde préparation et l'iodage de la plaque un intervalle de plus de douze heures.

Nous avons laissé la plaque avec un dépôt d'or et de platine. Pour polir cette couche métallique, il faut prendre avec un tampon de coton de l'huile et du rouge, et frotter jusqu'à ce que la plaque redevienne noire ; et puis avec de l'alcool et du coton seulement, on enlève le plus possible cette couche d'huile et de rouge.

Alors on frotte assez fortement, et en repassant plusieurs fois aux mêmes endroits, la plaque avec du coton imprégné de cyanure. Comme cette couche sèche très-promptement, elle pourrait laisser sur la plaque des traces d'inégalité ; pour éviter cela, il faut repasser le cyanure, et pendant que la plaque est encore humide, avec un tampon imbibé d'un peu d'huile on s'empresse de frotter sur toute la surface de la plaque, et de mêler ainsi ces deux substances ; puis, avec un tampon de coton sec, on frotte pour unir et en même temps pour dessécher la plaque, en ayant soin d'enlever du tampon de coton les parties qui s'humectent de

cyanure et d'huile. Enfin, comme le coton laisse encore des traces, on saupoudre égalemect la plaque d'un peu de rouge que l'on fait tomber en frottant légèrement et en rond.

Ensuite, avec un tampon imprégné d'huile seulement, on frotte la plaque également, et de manière à faire revenir le bruni du métal; et puis on saupoudre avec du rouge, et l'on frotte très-légèrement en rond, de manière à faire tomber tout le rouge qui entraîne avec lui la surabondance de la couche acidulée (1).

Enfin, avec un tampon de coton un peu ferme, on frotte fortement pour donner le dernier poli (2).

Il n'est pas nécessaire de renouveler souvent les tampons imbibés d'huile et de rouge; il faut seulement les garantir de la poussière.

J'ai dit plus haut que la première préparation de la plaque peut servir indéfiniment; mais on comprend que la seconde doit être modifiée selon qu'on opère sur une plaque qui a reçu une épreuve fixée ou une non fixée.

Sur l'épreuve fixée.

Il faut enlever les taches laissées par l'eau du lavage, avec l'oxyde rouge et de l'eau faiblement acidulée d'acide nitrique (à 2 degrés dans cette saison, et moins dans l'été).

Ensuite, il faut polir la plaque avec de l'huile et du rouge pour enlever toutes les traces de l'image qu'on efface.

On continue alors l'opération comme je viens de le dire plus haut pour la seconde préparation de la plaque neuve et à partir de l'emploi de l'alcool.

---

(1) Il faut avoir soin d'appuyer le moins possible, car autrement le rouge adhérerait à la plaque et formerait un voile général. Cette précaution est nécessaire dans toutes les opérations.

(2) Lorsque l'on opérera sur une plaque qui aura reçu longtemps à l'avance la première préparation, il faudra, avant d'employer l'huile acidulée et l'oxyde rouge, opérer comme je l'indique plus loin pour la plaque qui a reçu une épreuve fixée. Cette précaution est nécessaire pour détruire les taches que le temps pourrait avoir développées.

Sur l'épreuve non fixée (mais dont la couche sensible a été enlevée comme à l'ordinaire, dans l'hyposulfite de soude).

D'abord, il faut frotter la plaque avec de l'alcool et du rouge pour enlever les traces de l'huile qui a servi à faire l'épreuve précédente.

On continue ensuite comme il est indiqué plus haut pour la plaque neuve, et à partir de l'emploi de l'alcool.

TABLEAU RÉSUMÉ DES OPÉRATIONS.

Première préparation.

1°. *Sublimé corrosif* avec *tripoli* d'abord, et *rouge* ensuite, pour polir la plaque;

2°. *Cyanure de mercure chauffé* et *séché* avec du *coton* et du *rouge;*

3°. *Huile acidulée* avec *rouge* pour polir la couche de mercure;

4°. *Or et platine chauffé* et *séché* avec du *coton* et du *rouge.*

Seconde préparation.

5°. *Huile acidulée* avec *rouge* pour polir la couche d'or et de platine;

6°. *Alcool absolu* pour enlever le plus possible l'huile et le rouge;

7°. *Cyanure de mercure employé à froid* et *frotté seulement* avec du *coton;*

8°. *Huile frottée assez fortement* et *égalisée* en dernier lieu avec du *rouge saupoudré.*

Sur l'épreuve fixée.

1°. *Acide nitrique* à 2 degrés avec *rouge* pour enlever les taches;

2°. *Huile* avec *rouge* pour enlever les traces d'image et pour polir.

Continuer ensuite comme plus haut, à partir du n° 6, alcool, etc.

Sur l'épreuve non fixée (dont la couche sensible a été enlevée avec l'hyposulfite de soude).

Alcool avec *rouge* pour enlever les traces d'huile, et continuer comme plus haut, à partir du n° 6, alcool, etc.

OBSERVATIONS.

De l'iodage.

La couleur de l'épreuve dépend principalement de la teinte que l'on donne à l'iodure métallique. On peut donc la varier à volonté; cependant la couleur *rose violâtre* m'a paru la plus convenable.

Pour transmettre l'iode à la plaque, on peut remplacer la feuille de carton par un plateau de faïence dont on aura usé l'émail. L'iode transmis par ce moyen n'est pas décomposé.

Il est inutile, je dirai même nuisible, de chauffer la plaque avant de l'exposer à la vapeur de l'iode.

Du lavage à l'hyposulfite de soude.

Pour enlever la couche sensible, il ne faut pas que la dissolution d'hyposulfite de soude soit trop forte, parce qu'alors elle voile les vigueurs. 60 grammes d'hyposulfite suffisent pour 1 litre d'eau distillée.

RECHERCHES SUR LA DISPOSITION DES ZONES SANS PLUIE ET DES DÉSERTS (1);

PAR M. J. FOURNET,

Professeur à la Faculté des sciences de Lyon.

(Fin.)

Depuis le détroit de Magellan jusqu'à l'isthme de Panama, le littoral océanique court à peu près directement du sud au nord, et forme une plaine basse n'offrant en général des ondulations montagneuses un peu articulées qu'à l'approche de la chaîne des Andes, qui la resserre de telle sorte que sa longueur ne varie guère qu'entre 30 et 100 milles. C'est surtout entre Arequipa et Truxillo que cet espace est le plus étroit, et de là résulte probablement la plus grande humidité que l'on remarque autour de Lima, comparativement aux parties situées un peu au nord ou au sud de cette station, humidité dont nous ferons ressortir plus loin les caractères; pour le moment, voyons de quelle manière les faits principaux s'enchaînent sur cette étendue.

Valparaiso (lat. 33°7' sud) est situé en plein dans la zone subtropicale à pluies d'hiver de l'hémisphère sud (mai à septembre); celles-ci se raréfient de plus en plus jusque vers Cobija, sous le tropique du Capricorne, où elles commencent à devenir complétement nulles, circonstance qui se maintient plus ou moins jusqu'à Guayaquil, sous le 2e degré de latitude sud : là elles sont abondantes durant les mois d'hiver, et cessent au milieu de mai; en sorte que cette station se trouve dans la zone des pluies intertropicales de l'hémisphère austral; mais, à partir du golfe de Guayaquil, dans les forêts du Choco et des Esmeraldas, le régime change rapidement, et de telle sorte qu'aux sécheresses de Tumbez et de Payta succèdent une humidité constante et des pluies journalières.

Enfin, du 5e degré nord jusqu'en Californie, les pluies et le beau temps, les saisons des soleils et des nuages se succèdent de nouveau très-régulièrement, mais en sens inverse de Guayaquil; en sorte que la zone des pluies hémi-annuelles, si fortement étranglée dans l'hémisphère austral, entre celles des sécheresses et des pluies perpétuelles, se trouve avoir repris toute sa prépondérance.

La disposition de la végétation est, du reste, en harmonie parfaite avec cette succession de zones : ainsi, autour de la Conception, on trouve de grandes forêts; à ces plantes vigoureuses succèdent déjà, vers Velparaiso, de tristes broussailles et un gazon

---

(1) Voyez le cahier de Mai, page 116.

clair-semé, excepté vers les flancs des montagnes que l'on rencontre en se dirigeant sur Santiago, lesquels sont tapissés de verdure, et encore n'est-ce que de loin en loin : tout dénote donc ici une terre languissante, faute d'humidité. A Coquimbo, le mal augmente, les broussailles disparaissent, et l'on ne voit plus que quelques herbes; enfin, depuis ce dernier point jusqu'à Guayaquil, sur une étendue de plus de 1 600 milles, on trouve plusieurs grandes solitudes sans verdure, et dont les sables mouvants, recouvrant à peine la roche sous-jacente, constituent une affreuse aridité. C'est ainsi que depuis Coquimbo jusqu'à Copiapo, pendant 100 lieues de chemin, il n'y a ni villes ni villages, mais seulement quelques métairies; viennent ensuite les desiertos d'Atacama, où les mules périssent fréquemment faute d'herbe et d'eau; puis au delà de Lima et au nord de Truxillo, on retrouve encore ceux de Picera et de Séchura. Cependant ces plaines sont coupées çà et là par des rivières venant des cordilières; quelques-unes n'ont qu'un cours intermittent, soit du matin au soir, soit d'une saison à l'autre : elles fertilisent leurs vallées, et en font en quelque sorte des oasis, au nombre desquelles sont celles d'Arica, de Coquimbo, de Quillota, fameuses pour la quantité de blé qu'on en tire tous les ans; et enfin celle de Lambaryèque, où il y a, en outre, des forêts étendues. Dans les endroits voisins où l'on ne peut pas conduire commodément ces eaux pour l'arrosage des terres, comme, par exemple, autour de Pisco, on parvient encore à cultiver la vigne, en plantant les ceps dans des creux de $1^m,30$ à $1^m,60$ de profondeur, parce qu'ils y trouvent une humidité générale suffisante pour leur développement. Mais ces faits, dérivés de causes éloignées, n'infirment en rien la généralité de l'extension des déserts sur le littoral péruvien; ils ne cessent qu'avec le retour des pluies vers les inextricables forêts du Choco, auxquelles succède le luxe intertropical de l'isthme de Panama et des côtes du Mexique, suivi à son tour des rares cactus et autres plantes grasses des rochers de la Californie, après lesquels on tombe vers l'embouchure de Rio-Colorado dans une flore européenne qui se développe sous l'influence d'une température comparable à celle du royaume de Valence et de l'Italie.

En dernière analyse, la zone subtropicale sans pluie présente, sur le littoral péruvien, un immense développement en longueur, puisqu'il comprend environ 20 degrés de latitude, anomalie qui, d'après Dampier, s'étend aussi jusqu'à 200 ou 300 lieues en mer. Ce phénomène exceptionnel paraît dépendre de plusieurs causes: d'abord cette côte est soumise à l'influence presque permanente des vents du sud-ouest et du sud (mistral péruvien) qui, essentiellement froids, parce qu'ils viennent du pôle austral, ne sont pas susceptibles d'enlever une forte proportion de vapeur d'eau à la mer qu'ils traversent, et d'ailleurs ils passent d'une température

glacée dans des zones de plus en plus chaudes, en sorte qu'ils ne peuvent pas laisser précipiter leur humidité.

En second lieu, ce littoral est baigné par un courant marin qui, remontant du pôle austral vers l'équateur, amène une grande quantité d'eau froide, et incapable par conséquent de se prêter à une abondante évaporation. Ce fait est d'ailleurs démontré par les observations de M. Duperrey, qui a trouvé qu'au port de Lima les températures de la mer sont inférieures à celles des terres, contrairement à ce qui arrive sous le 12e degré de latitude sud, où elles sont d'ordinaire peu différentes entre elles.

Le voisinage immédiat des Andes doit encore produire durant le jour des brises ascendantes dont l'action, correspondante à celle des vents généraux du sud-ouest, attire rapidement les vapeurs autour des cimes, où elles déterminent les climats variables de Cusco, de Puno et de la Paz.

Enfin, les nuages poussés sur le versant opposé par l'alisé sud-est, ou par le nord-est qui y règne le plus souvent, se déchargent encore sur les Cordilières, en sorte qu'ils ne peuvent plus déverser de pluies sur les plaines du Pérou, tandis que les hauteurs sont sujettes, presque tous les jours, à des changements de temps sereins et nébuleux, et à des orages fréquents.

Ces causes paraîtront sans doute suffisantes pour expliquer le fait de l'extension des sécheresses absolues; cependant il présente, dans les détails, une particularité digne d'attention. En effet, si l'on peut dire d'une manière générale qu'il ne pleut jamais à Lima, ou tout au moins qu'il n'y a pas là de pluies à larges gouttes, il faut pourtant faire observer que, durant une grande partie de l'année, un ciel d'airain y perd sa transparence, se trouble, demeure couvert par une vapeur singulière connue des habitants sous le nom de *garrua*, *garroua* ou *garruva*, dénominations qui s'appliquent d'ailleurs aussi à des pluies de courte durée et douces comme des bruines, ainsi qu'aux pluies très-fines qui se font sentir en mer vers le 33e degré nord, entre la Californie et les îles Galapagos. Quoi qu'il en soit de ces acceptions diverses du même mot, les vapeurs de la garrua de Lima sont assez épaisses pour que le soleil, vu à travers, prenne à l'œil nu l'apparence du disque de la lune; elles s'établissent le matin, et s'étendent sur les plaines en forme de brouillards rafraîchissants qui disparaissent dans les premières heures de l'après-midi, après lesquelles de fortes rosées se précipitent durant la nuit. D'autres fois, et surtout pendant l'hivernage, elles s'élèvent comme des nuages à la hauteur des montagnes de la côte, qu'elles humectent assez pour qu'on puisse y faire de l'herbe dans les endroits peu exposés à l'ardeur du soleil; enfin elles se résolvent en pluies plus ou moins fortes contre les flancs des Cordilières, à quinze ou vingt lieues dans les terres, où il devient possible d'obtenir des récoltes. Ces pluies y règnent de dé-

cembre jusqu'en mai, c'est-à-dire durant l'époque du passage du soleil au zénith de cet hémisphère, en sorte qu'elles coïncident avec celles qui se manifestent généralement entre le tropique du Capricorne et l'équateur, et que les phénomènes ont leur disposition normale et inverse des saisons de Valparaiso et de Cobija.

Cet effet local de la garrua de Lima peut s'expliquer, comme nous l'avons déjà donné à entendre, par la plus grande proximité des Cordilières qui y produisent une fraîcheur remarquable, surtout si on la compare à la chaleur bien autrement intense que l'on ressent à la baie de Tous-les-Saints, située à peu près sur la même latitude, mais au loin des hautes montagnes sur les côtes atlantiques du Brésil. Cette fraîcheur, considérée d'une manière plus générale, paraît être de plus une des causes du transport de la zone des sécheresses vers l'équateur, de manière qu'elle acquiert un développement essentiellement intertropical, contrairement à ce qui arrive en Afrique et dans la Vieille-Californie. En généralisant encore davantage cette indication, on peut même dire que dans tout cet hémisphère aqueux, et par conséquent plus froid que l'autre, l'ensemble des alisés, des lignes isothermes et des zones pluviales tend à se rapprocher du pôle boréal; de telle sorte que l'axe des pluies, presque perpétuelles, n'est pas rigoureusement à cheval sur l'équateur, mais anticipe légèrement vers le nord avec la bande des calmes et des vents variables comprise entre les alisés opposés du sud-est et du nord-est.

Si du littoral nous pénétrons dans l'intérieur du continent, nous ne pourrons pas espérer de trouver des déserts sur le dos si fortement accidenté, ni sur le flanc des Andes; mais il n'en sera pas moins de quelque intérêt de compléter ce travail par la recherche de la distribution des pluies, au moins sur une partie de leur surface, et nous allons le faire, en profitant des résultats obtenus par Bouguer, Sobreviala, combinés avec ceux dont nous sommes redevables à l'extrême obligeance de MM. d'Orbigny et Auguste de Saint-Hilaire.

Les nuages amoncelés par les vents de nord-est demeurent, pour ainsi dire, stationnaires sur une partie du flanc oriental des Andes, à une altitude de 3 000 mètres, où ils circonscrivent la zone des végétaux ligneux; mais au plus fort de la saison pluvieuse de ce même versant, ils s'élèvent et passent sur des hauteurs de 4 000 mètres en y déterminant des pluies qui se distribuent de la manière suivante:

Depuis Quito (lat. 0° 25′ sud) jusqu'à Huanuco et Xeuxa (lat. 10 à 12 min. sud), les pluies qui, vers l'équateur, se prolongent plus ou moins durant les cinq ou six mois qui s'écoulent entre novembre et mai, se raréfient graduellement de manière à offrir vers ces dernières stations un air sec, par suite de leur réduction, aux mois de décembre, janvier et février; aussi le climat devient

agréable, mais il est accompagné d'un défaut de pâturages dans la montagne. A ce régime succèdent rapidement les grandes élévations et le climat variable de Cusco et d'Arequipa (lat. 13 à 16 degrés sud) où les pluies et les orages sont journaliers. Vers Chuquisaca et Cochabamba (lat. 19 degrés environ), à des altitudes de 3000 mètres, M. Pentland eut à supporter des pluies continuelles dans ses excursions depuis le mois de janvier jusqu'au 1er avril. Enfin, dans la partie centrale du Chili (lat. 33 degrés sud), l'air redevient très-sec, et le ciel est constamment sans nuages durant notre hiver, cette partie, comme Valparaiso et Sant-Yago, se trouvant dans la zone à pluies d'été, de mai en septembre, qui, pour cet hémisphère, correspondent à l'hiver.

En descendant de ces grandes hauteurs dans les régions basses du pied oriental des Andes, on rencontre, entre les latitudes 0 à 13 degrés sud, des pluies qui durent toute l'année, en sorte que cette bande doit être considérée comme formant un appendice latéral aux pluies perpétuelles des forêts vierges de Rio-Negro et de l'Amazone; il en résulte que, d'un versant à l'autre, et entre le tropique et l'équateur, on a, suivant les parallèles et les hauteurs, des stations sur lesquelles il ne pleut jamais (environs de Lima); d'autres où les pluies durent à peu près trois mois; d'autres où elles se prolongent jusqu'à six mois, et d'autres enfin où elles sont journalières.

Dans la partie centrale du continent, les vastes contrées de la Plata, du Buenos-Ayres, de l'Uruguay et du Paraguay, reçoivent partout des chutes d'eau, variables quant à la durée, à l'époque et à l'abondance. Ainsi, depuis la Patagonie et sur les pampas (lat. 35 degrés sud), elles tombent régulièrement, mais peu abondantes, et seulement pendant les mois de juin, juillet et août, qui constituent l'hiver du pays. Dans le Corrientes, et surtout à l'Assomption, dans le Paraguay (lat. 30 à 25 degrés sud), elles sont plus ou moins fréquentes en toutes saisons; enfin, dans la région chaude, à commencer du 20e degré sud jusqu'à la ligne de Moxos, Chiquitos (Brésil), il pleut durant les six mois compris entre octobre et mars. Cette régularité persiste sur le plateau du Brésil, dans les districts de Saint-Paul, de Minas-Geraës et Goyaz, où les pluies commencent entre la mi-septembre et la mi-octobre pour durer cinq mois. A Vallarica elles sont très-intenses en janvier et février, et elles varient du reste suivant les hauteurs; car, sur les bords du San-Francisco, elles s'arrêtent en janvier. La végétation suit, comme de coutume, les progrès de ces variations udométriques et thermométriques. Le sol de la Patagonie est d'une grande aridité, couvert de landes analogues à celles de la Gascogne; vers le nord, dans les pampas, il se couvre de pelouses; plus au nord encore, de bois épais; enfin on tombe dans la puissante végétation intertropicale. Suivant M. d'Orbigny, une partie

de ces résultats aurait pour cause essentielle la prépondérance des vents qui, sur ce côté des Andes, suivent une allure nord et nord-est, inverse de celle qu'ils affectent sur le littoral océanique. Il reste donc maintenant encore à trouver la cause de ce parallélisme opposé des courants atmosphériques de l'un et l'autre versants des Andes.

Sur le littoral atlantique la distribution des pluies est encore plus anomale, comme on pourra en juger par les détails suivants, dont nous avons puisé la délimitation dans les voyages de Dampier, Frezier, Piron, Vignal, Martius, Jacquemont, Saint-Hilaire et d'Orbigny.

A Buenos-Ayres et Montevideo (lat. 33 degrés sud), les variations atmosphériques sont considérables; il en est de même à Rio-Janeiro (lat. 23 degrés sud), où il n'y a pas d'époques fixes pour les pluies, bien que les plus fortes tombent depuis octobre jusqu'en mars, et que, par contre, elles soient assez faibles en juin, juillet et août. Il résulte de cette donnée que la dernière station pourrait rentrer dans le climat intertropical de l'hémisphère austral, en le considérant toutefois comme compliqué d'une circonstance accidentelle qui se manifeste jusqu'à Olinda (lat. 8 degrés sud). En effet, à Bahia (Tous-les-Saints, lat. 13 degrés sud), les pluies tombent depuis mars ou avril jusqu'en septembre, en devenant torrentielles au milieu de l'été, contrairement à ce qui devrait avoir lieu pour la région intertropicale de cet hémisphère. Il est à remarquer en outre que les vents généraux du sud-est, du large, ne dominent sur ces côtes que durant les saisons pluvieuses de mars en septembre, après quoi ils sont remplacés, pendant les sécheresses, par ceux du nord-est, ce qui constitue ainsi une sorte de mousson. D'ailleurs rien de moins constant que le retour périodique des brises de terre et de mer; cette dernière règne, à Rio-Janeiro, souvent plusieurs jours de suite, et elle est suivie de calmes plats; celle de terre ne souffle que par le beau fixe, et les moindres perturbations atmosphériques suffisent pour l'anéantir; enfin mille vents locaux s'établissent pendant le jour, souvent par risées très-vives, à l'embouchure de toutes les anses, et vers les saillies de tous les caps de la baie. Or, la sierra de Espinhaço domine toute cette partie du littoral; ce voisinage individualise donc en quelque sorte sa météorologie, et c'est ainsi que se trouve, sinon levée, au moins éclaircie, cette exception locale dont les premiers navigateurs avaient déjà été si vivement frappés. Mais entre le cap Blanco et celui du Nord, à l'extrémité de la cordilière des Guyanes, est situé l'évasement du bassin de l'Amazone, vis-à-vis duquel les lois générales suivent leur cours, c'est-à-dire que les pluies règnent en hiver depuis octobre jusqu'en avril, conformément à ce qui a lieu dans toute la région intertropicale de l'hémisphère austral, et celles-ci sont enfin suivies des pluies équatoriales de la Guyane, à

saisons plus nettement tranchées qu'au Choco et que sur les bords du Rio-Negro, en ce sens que l'on y distingue quatre époques annuelles, dont deux de sécheresses et deux de pluies.

Les détails nombreux dans lesquels nous venons d'entrer, indiquant pour cette partie orientale du continent sud américain des empiétements analogues à ceux qni ont été signalés pour le nord américain, rendent l'existence des déserts proprement dits tout à fait impossible. S'ils étaient formés d'après les mêmes lois que ceux de l'Afrique, ou des côtes occidentales du nouveau monde, on devrait retrouver leurs traces aux latitudes du Paraguay; mais les pluies y sont abondantes. Aussi c'est entre les 15e et 5e degrés sud, sur les parallèles de Pisco et de Payta, qu'il faut s'élever pour trouver, sur le dos des Andes, les moindres pluies de l'Huanuco et de Xeuxa; puis sur le seuil de partage des eaux de l'Amazone et du Paraguay, les fameux campos Pariecys, vaste plateau sablonneux, presque dépourvu de végétation, et que l'on compare au Chamo ou Gobi de la Mongolie, dont il sera question par la suite; enfin, plus à l'est encore, les bassins de San-Francisco, les provinces de Goyaz, de Fernambuco et de Bahiaqui, montrent çà et là, sur leurs sertuos, des collines de sables mouvants entremêlées de culture, et toute cette série indiquera, non pas un état d'aridité absolue, mais simplement la facilité avec laquelle les savanes peuvent prendre la physionomie des déserts.

En résumé, le nouveau monde doit être considéré comme divisé par les Andes en deux systèmes que leur configuration différencie aussi bien que leur météorologie. La partie occidentale est très-étroite, mais d'une structure simple, tandis que l'autre est large, profondément articulée et irrégulièrement bosselée; la première présente tous les grands phénomènes que l'on peut considérer comme les résultats les plus immédiats de l'influence solaire sur la seconde : ils tendent à s'effacer dans la série des causes partielles, et notamment dans les effets de superposition des pluies périodiques. La conséquence la plus capitale de cette irrégularité est l'annihilation des déserts absolus, et c'est ainsi qu'une uniformité extrême du sol qui, au premier aspect, semblerait devoir être un élément de prospérité par la facilité qu'elle laisse aux communications, devient au contraire un des obstacles les plus puissants que la nature ait élevés contre la civilisation.

Jusqu'à présent, en démontrant qu'un défaut absolu de pluie est nécessaire pour constituer l'aridité absolue d'un désert, que celle-ci n'est autre chose que le reflet d'un ciel d'airain, nous n'avons satisfait qu'à une partie de la question. En effet, on voit bien que c'est, en définitive, dans l'atmosphère que réside essentiellement la cause que nous recherchons, mais rien n'explique encore pourquoi il ne doit pas pleuvoir entre les deux zones intertropicales et subtropicales; nous devons donc encore entrer dans quelques détails à cet égard.

Or, les pluies intertropicales commencent, pour chaque station, au moment où le soleil parvient à sa plus grande hauteur, parce qu'alors, sous l'influence des colonnes d'air ascendantes, la brise de l'alisé devient incertaine, et qu'à celle-ci se substituent des calmes interrompus par des vents qui soufflent du pôle hétéronyme. Il s'opère donc, en ce moment, une distribution inégale de la chaleur, dont le résultat est la condensation de la vapeur aqueuse dissoute dans l'air.

Les pluies hiémales surviennent de leur côté dans la zone correspondante dès que, par l'éloignement du soleil, le refroidissement atmosphérique y est parvenu à un degré sensible.

Cela étant, on conçoit facilement qu'entre ces deux régimes inverses, et dans les stations plus rapprochées de celles que parcourt le soleil, c'est-à-dire vers le tropique, il peut y avoir une persistance de chaleur suffisante pour maintenir en dissolution les vapeurs charriées par les affluents des alisés, en sorte que là il y aura absence de pluies et production simultanée de déserts, à moins que des causes orographiques n'y provoquent des refroidissements locaux, ou que des vents spéciaux, par leur jeu alternatif, ne déterminent des perturbations dans l'ordre normal. Les exemples à l'appui ont été suffisamment nombreux, et si nous cherchons actuellement à appliquer à l'Asie des données qui résultent des phénomènes de l'Afrique et de l'Amérique, nous arriverons immédiatement à trouver que cet autre continent ne peut pas contenir de déserts proprement dits, ou tout au moins de ces déserts absolus, tels que le Sahara.

En effet, un méridien passant par le littoral oriental de l'Afrique partage en quelque sorte le globe en deux hémisphères : l'un, occidental, sur lequel règnent les alisés, et l'autre, oriental ou asiatique, formant le domaine des moussons ; mais celles-ci, d'après ce que le littoral du Brésil nous a fait entrevoir, ne paraissent pas susceptibles de produire des sécheresses permanentes, car elles ne peuvent être que le résultat de l'uniformité des alisés.

Cependant, comme on indique habituellement pour cette partie du monde une série de déserts, il importe de les bien définir, afin de les réduire à leur juste valeur.

La distribution de ces déserts peut-être envisagée de deux manières : suivant l'une, ils commenceraient en regard du Sahara et se prolongeraient en ligne droite vers l'est en suivant le tropique du Cancer sur une partie de l'Arabie, de la Syrie, de la Perse et de l'Inde où ils s'arrêteraient sur les bords du plateau du Dekan. Dans cette étendue, sur laquelle ils sont presque contigus les uns aux autres, ils ne seraient interceptés que momentanément par la mer Rouge, par le golfe Persique ou par les montagnes du Kurdistan et de l'Indo-Perse, et leur longueur totale, depuis l'Atlantique jusque dans l'Inde, serait ainsi d'environ 2 100 lieues, c'est-à-dire égale au quart de la circonférence terrestre sous le tropique.

Suivant l'autre manière d'envisager les faits, leur axe, depuis l'Arabie jusque dans la Mongolie chinoise où se trouve le Schamoou-Gobi, serait parallèle au littoral des mers indo-chinoises et dirigé du nord-ouest au sud-est comme l'axe du grand soulèvement de l'Asie centrale. Dans ce cas, il faut ajouter aux longueurs précédentes les 500 lieues que l'on attribue au Gobi ; ils anticiperaient en outre jusque sous le 47e degré nord, c'est-à-dire qu'ils pénétreraient fort avant dans la zone tempérée qui, dans cette partie de l'Asie, est assujettie à des climats bien plus excessifs que l'Europe, circonstance essentielle à noter pour la discussion des faits que vont nous présenter ces différentes stations.

Dans l'ensemble de la Syrie et de l'Arabie, les déserts compris entre Alep, Bassora, Rostak, la Mecque et Damas, semblent, au premier coup d'œil, s'épanouir depuis les hauteurs de l'Yemen, de l'Hadramaout et du Mahra, ou depuis le 16e degré jusqu'au 36e degré nord, et la sécheresse de ce sol est devenue un lieu commun ; mais on peut immédiatement le diviser en deux parties, l'une septentrionale et l'autre méridionale, séparées par le Nedsjed, espace d'oásis accidentée, couverte de pâturages, arrosée par des sources et habitée par de nombreuses peuplades, à laquelle font suite, d'une part, le pays de Bahrein, riche par ses dattes et son vin, et de l'autre, le district de Lahsa (de l'Alisa), arrosé par une rivière qui se jette dans le golfe Persique et qui n'est qu'un torrent sujet à se dessécher durant les étés.

La partie septentrionale connue sous le nom de Barria ou de Bar-Abad, et que l'on peut désigner sous le nom collectif de désert syrien-arabique, reçoit surtout, vers la limite septentrionale, des pluies plus ou moins abondantes en hiver durant les mois de décembre et de janvier ; ces pluies y déterminent l'existence d'une flore spéciale, et diverses tribus en occupent les savanes enclavées au milieu de terrains nus et arides ; ce serait donc à tort que l'on voudrait en faire une *mer-sans-eau* proprement dite, bien qu'il se passe quelquefois une année entière et plus sans qu'il y pleuve, même dans le Nedsjed, où cette intempérie provoque des disettes. Il s'ensuit que la sécheresse absolue ne peut guère se trouver que vers l'extrémité méridionale de la péninsule arabique comprise entre le 14e degré et le 23e degré nord.

Celle-ci est dominée, vers le littoral du golfe d'Aden et de la mer d'Oman, par la masse de l'Hadramaout dont les altitudes ne dépassent pas 1 550 à 1 750 mètres, et dont dérivent, d'une part, le rameau de l'Yemen, disposé le long de la mer Rouge, et de l'autre, celui qui, à partir du Mahra, tourne brusquement vers l'entrée du golfe Persique, en suivant sur le littoral de Batna la direction sud-est nord-ouest entre Ras-al-Had et Ras-Muscadom (lat. 22° 23′ à 26° 25′ nord). Ce chaînon conserve encore, d'après les mesures du lieutenant Wellsted, une altitude moyenne de 970 à

1 160 mètres, et toutes ces élévations sont telles qu'elles doivent nécessairement provoquer la formation des pluies; aussi les montagnes de l'Hadramaout sont bien arrosées; entre celles-ci et celles de l'Yemen, les plaines, tantôt fertiles, tantôt arides, du Beled-el-Djol, offrent encore des ruisseaux qui conservent de l'eau toute l'année, par suite des pluies propres aux montagnes avoisinantes. Le Nedsjeran reçoit des grandes pluies qui tombent sans interruption pendant les mois de décembre, janvier et février, tandis que les hauteurs de l'Yemen, dont quelques sommités reçoivent des neiges tous les ans, sont au contraire fertilisées par des pluies régulières correspondantes à la mousson d'été et qui commencent vers le milieu de juin pour finir en septembre; cette saison est appelée *mattar-el-Kharif*. Il y en a encore une autre qui règne depuis le mois de février jusqu'en avril, et qui reçoit le nom de *mattar-el-Séïf;* plus elle est caractérisée, et plus la récolte est abondante. Ces pluies n'offrent pourtant pas cette continuité qui est ordinaire entre les tropiques, car le ciel est rarement couvert pendant vingt-quatre heures de suite, et le reste de l'année se passe sans que durant des mois entiers on aperçoive le moindre nuage.

A la base de ces hauteurs pluvieuses on trouve, sur la bande étroite du littoral de la mer Rouge, le sablonneux Tehama qui renferme si peu de terrains fertiles et où les pluies sont si peu abondantes, que les habitants, à l'exception de ceux qui se livrent au commerce, sont tous pauvres, et ce régime s'étend sur cette partie sud-ouest de la péninsule jusque sur les plaines rocailleuses sans eaux et sans arbres des environs d'Aden; cependant il ne faudrait pas en conclure une privation absolue, car les deux saisons Kharif et Séïf sont prononcées à Hez; on sait en outre qu'à Moka les vents du sud-ouest, qui dominent d'avril en août, amènent avec eux quelques pluies pendant les rafales et les risées. Leur rareté dans cette partie paraît due à l'attraction des nuages par les montagnes voisines; car on a vu, sur le Tehama, des journées entières se passer avec un ciel constamment serein, tandis qu'il pleuvait continuellement sur les hauteurs.

Les phénomènes en question se reproduisent, mais dans un ordre inverse, sur la côte orientale de l'Arabie, où les pluies règnent sur les fertiles montagnes d'Oman pendant la mousson d'hiver. Comme dans le Nedsjeran, et probablement comme dans tout l'intérieur de la péninsule, cette saison, qui dure depuis le commencement de novembre jusqu'à la mi-février, a reçu le nom de *schitt,* et les pluies sont alors assez abondantes pour produire des torrents impétueux; tandis qu'au pied des montagnes, à Maskat comme dans le Tehama, on ne reçoit guère que sept à huit chutes annuelles.

En somme, on doit voir qu'il n'y a pas lieu à chercher de vrais déserts ni vers l'un ni vers l'autre des deux versants, orien-

tal ou occidental, de l'Arabie, et il en sera de même sur le littoral méridional, où les pluies tombent encore dans la saison Séïf des mois de février, mars et avril, à l'une des interversions des moussons, instants toujours critiques, à cause des tempêtes qu'elles soulèvent. Où chercherons-nous donc les déserts? sera-ce sur le vaste plateau côtier du Mahra? Mais les tribus nomades le parcourent dans tous les sens; les steppes y sont par conséquent nettement dessinées : il ne nous reste donc plus que la partie centrale de l'Arabie méridionale, formant ce qu'on appelle le grand désert d'Ahkof, compris entre le Nedsjed, l'Yemen et l'Oman; mais c'est une *terra incognita,* à l'égard de laquelle nous ne possédons que les récits emphatiques des Arabes, pour lesquels les mots de plaines et de déserts sont presque synonymes, et d'après lesquels ce plateau était jadis un paradis terrestre habité par des géants impies nommés Aadites, qu'un déluge de sable aurait exterminés; mais ce mythe, ou d'autres analogues, se retrouvent dans toutes les parties sablonneuses de l'Asie sur lesquelles les pluies sont néanmoins caractérisées, en sorte qu'il n'est d'aucune valeur dans la question.

Avant de quitter cette région, il convient de faire observer que le régime pluvial inverse des deux littoraux de l'Arabie se trouve reproduit dans l'Inde autour de la chaîne des Ghâtes; l'on y voit alternativement la côte du Malabar, arrosée comme la côte occidentale de l'Yemen pendant le règne des vents du sud-ouest et du sud-est de l'Hellé, tandis que la côte de Coromandel, comme celle d'Oman, se trouve assujettie aux pluies des vents de nord-est d'hiver, et si l'on veut généraliser davantage cet aperçu, on trouvera encore sur le littoral occidental de la mer Rouge l'île de Dahalac et la chaîne du Mokattam, inondées par les pluies d'hiver, bien que les moussons y soient déviés légèrement du nord-ouest au sud-est par suite de la disposition de ce bassin.

La Perse, essentiellement continentale, nous offre de plus une structure et une position géographique bien différente de celle de la péninsule arabique; sa partie sud-orientale, la seule que nous ayons à considérer, est simplement côtoyée au midi par la mer des Indes, tandis qu'à l'ouest le golfe Persique ne l'entame que très-faiblement. Elle constitue, en outre, un plateau déprimé à 680 mètres vers le centre autour de Yezde et du lac Zareh, mais dominé sur sa périphérie, au nord, par les prolongations de l'Elbrous et du Paropamisus dont les altitudes connues sont d'au moins 800 mètres; à l'ouest, par la région de Téhéran, d'Ispahan et de Schiraz, élevée de 1 164 mètres à 1 350 mètres au sud par la terrasse littorale et imposante du Beloudschistan, et enfin à l'est par les hauteurs considérables de l'Afghanistan, qui, près de Kandahar, Kwettah et Khélat, atteignent successivement 1 050, 1 680 et 1 750 mètres; enfin, comme dernier caractère, il faut encore

signaler sa position entièrement au nord du tropique, qui, à elle seule, suffirait pour faire présumer avec certitude que les déserts sans eaux doivent en être exclus.

Cependant on en indique cinq principaux, dont l'un, qui sépare le Khorasan de l'Irac-Adjemi, nommé le grand désert salé ou Kuwir, serait à lui seul long de 520 kilomètres avec une largeur de 280 kilomètres; leur ensemble, formant les $\frac{3}{10}$ de la superficie du pays, serait compris entre les 25e et 36e degrés nord, depuis le Beloudschistan jusqu'à la chaîne de l'Elbruz: encore celle-ci, qui sépare le plateau de l'Iran d'avec la vaste concavité du Touran, ne constituerait pas une limite absolue vers le nord, car des dunes mobiles y déplacent le lit des rivières entre la mer Caspienne et le lac Aral; mais, sans nous occuper de cette espèce de queue des steppes Kirghises ou d'Ischim, bornons nos recherches de détail à la partie méridionale de la contrée.

Sur le plateau d'Iran, on a d'abord les déserts du Khorasan et de Naubendam, au-dessus desquels on ne voit durant l'été pour ainsi dire aucun nuage: les rosées y sont si peu sensibles, que le papier ne s'humecte pas pendant la nuit, et que le fer poli ne s'y rouille point. De vastes plaines, au milieu desquelles est enchâssée l'oasis de Yezd (lumière), dernier asile des adorateurs du feu, ne présentent qu'une terre sèche, couverte d'une croûte de sel qui craque sous les pieds et nourrissant des plantes salines. Mais, quelle que soit la sécheresse de cette partie, il n'y a pas absence de pluie; car à Ispahan (lat. 32° 40′ nord), où l'hiver commence en novembre et dure jusqu'en mars, on reçoit plusieurs averses tellement abondantes, que la terre en est pénétrée à plus de 1 mètre de profondeur: il y tombe, en outre, quatre à cinq chutes de neiges assez fortes. Les pluies les plus intenses ont lieu en mars et avril; elles sont accompagnées de quelques grêles, et à cette époque des vents forts viennent annoncer le retour des sécheresses.

Sur le même parallèle, les montagnes de Khorasan se couvrent d'une neige épaisse durant l'hiver, tandis que la pluie inonde les plaines sous-jacentes; en sorte que toute cette zone offre les mêmes conditions que le désert syrien-arabique dont elle forme la prolongation vers l'est, en se compliquant toutefois d'une plus grande intensité de froid.

Vient ensuite le désert du Kerman, situé au sud-est de Yezd, couvert aussi de sel et de sable, et au centre duquel se trouve l'oasis de Khubis, véritable jardin d'arbres fruitiers; d'ailleurs, l'ensemble de Kerman est riche en toutes sortes de productions végétales qui se développent partout où l'on peut établir des irrigations.

Dans le Farsistan, qui avoisine plus immédiatement le golfe Persique, l'herbe se renouvelle depuis janvier jusqu'en mai,

à la suite des pluies, et la plaine agréable et fertile de Schiraz (lat. 29°52′) se trouve soumise aux mêmes conditions; les montagnes qui l'environnent sont d'ailleurs fréquemment enveloppées de brouillards, et les fontes de neiges qui surviennent au printemps provoquent de temps à autre des débordements désastreux.

Davantage au sud, du 26e au 27e degré nord, dans le Laristan, sur les bords du golfe Persique, les chaleurs deviennent plus fortes; c'est là que se trouve la lisière maritime à laquelle sa température élevée a fait donner le nom de *kermasir*. Bender-Abassi et l'île d'Ormus sont aussi toutes deux célèbres à cause de leur intolérable climat, de leur malaria, de leurs terres salées et du défaut d'arbres et d'herbes; cependant c'est là qu'est placée la ville de Laar, dans une plaine entourée d'une ceinture de collines, et dont le sol, quoique sablonneux, est couvert de palmiers et d'orangers. Elle est munie de citernes et de réservoirs dans lesquels on recueille une eau potable après que les pluies d'hiver ont suffisamment dessalé la terre. C'est là aussi que l'on rencontre, entre Schiraz et Laar, la plaine de Dadiran, traversée par une rivière poissonneuse, et qui, douée d'une température plus douce, sert de refuge aux Européens fatigués par les chaleurs locales d'Ormus: il y a donc, dans cet ensemble, plutôt excès de température que défaut absolu de pluies, quoiqu'elles puissent quelquefois, et en certains points, manquer durant deux ou trois années consécutives, comme cela arrive, notamment dans l'enfoncement de Bender-Abassi.

Les données positives sur les saisons pluvieuses manquent pour une partie du Kohistan et de l'intérieur si accidenté du Beloudschistan; cependant si, d'un côté, nous savons que le voyageur Pottinger n'a trouvé, entre Sarawan et Kullugan, pendant une traversée de cinq jours, autre chose que des collines et des dunes de sables mouvants sans aucune végétation, d'un autre côté aussi, il faut ajouter que Toun, une des villes de l'un de ces pays, est situé dans une terre riche en blé; que dans les parties du Beloudschistan, où les eaux ne manquent pas, le sol produit de belles forêts, des céréales, des dattes, des amandes, du sucre, du coton et de l'indigo, variété de culture qui suppose nécessairement des chutes d'eau: on sait encore que les rivières du second ordre se perdent dans les sables ou se dessèchent durant l'été, dont les chaleurs sont excessives en certains points; en sorte qu'il faut nécessairement admettre des pluies hiémales pour retremper. D'ailleurs, pour le nord et l'est du Beloudschistan, des données plus précises établissent que les saisons sont réglées à peu près comme en Europe, avec des étés plus chauds et des hivers moins rigoureux, durant lesquels il tombe néanmoins des neiges à Kélat, près de Sarassan; le territoire de Kandahar est le plus fertile possible;

enfin, sur la lisière maritime, les moussons viennent déterminer une saison de pluie dont le résultat est de mettre fin aux chaleurs qui commencent en mars et durent jusqu'en octobre : il n'y a donc pas dans ce pays une surface un peu notable que l'on puisse faire entrer dans le régime du Sahara africain.

Les chaînes du Salomon et du Brahu (Brahuick) séparent le Beloudschistan et l'Afghanistan du pays bas de l'Inde, qui flanque leur versant oriental : là se trouve le Sindhy, dont la ressemblance avec l'Égypte a frappé d'étonnement plus d'un voyageur. Sa plaine unie, arrosée par un beau fleuve qui fertilise ses rives, est bordée, à droite, par une masse de montagnes stériles que leur sol et leur climat rendent inhospitalières; à gauche se développe un désert immense dont l'ensemble s'étend avec une longueur de cent myriamètres, depuis Attock jusqu'au district de Kutsch, situé sur le golfe du même nom, en envoyant des embranchements dans les régions occidentales. C'est ainsi que l'ouverture qui sépare les monts Salomon et Brahu, le Kandahar du Sindhy, est occupée par une plaine nue dont la stérilité est suffisamment indiquée par son nom de Detschi-bi-doulet ou *désert de la Pauvreté, plateau sans prospérité*. Mais, de ce que ces pays sont couverts de collines de sables, de ce qu'ils rappellent toutes les horreurs de l'Arabie déserte, de ce qu'ils ont arrêté même l'audace d'Alexandre, il ne s'ensuit pas qu'ils soient absolument privés de pluie et de toute végétation. Ainsi les savanes sont assez nombreuses dans les parties septentrionales; des marais et des jungles longent les rives du fleuve. Sur le chemin de Ruderpour à Almora, on trouve des roseaux épineux et des arbres à résine; dans le Sindhy, on rencontre des sources et des melons : les habitants de Beykanir, au sud de Djeypour, entretiennent partout des citernes pour suppléer à l'aridité de leur sol; enfin, à l'est, Delhy, Agra et le pays montagneux de Khotak sont signalés d'une manière plus positive pour leurs pluies périodiques commençant par des orages à la fin de mai, abondantes surtout en juillet et août, puis se raréfiant en septembre, et l'on remarquera que toutes ces régions, situées sur les mêmes latitudes, sont de plus extratropicales, s'étendant depuis le 23e jusqu'au 34e degré nord, aussi bien que l'ensemble de l'Afghanistan, du Beloudschistan et de la Perse. Quant au reste de l'Inde intertropicale, resserré comme il l'est entre des mers et des montagnes alpines, il ne peut naturellement offrir autre chose qu'un climat composé d'alternatives de sécheresses et de pluies diluviennes : aussi les brouillards, les averses, les grêles pesantes y sont plus effrayants que partout ailleurs.

Il ne reste plus actuellement en Asie d'autres grands déserts que le Sehama, ou le globe de la Tartarie et de la Mongolie, qui, refoulé au nord entre le 30e et le 47e degré par les chaînes de l'Himalaya et de Malakha, ne devrait pas faire partie de nos descrip-

tions. Cependant comme on est dans l'habitude de l'enregistrer au nombre des précédents, nous croyons devoir encore entrer dans quelques détails à son sujet.

Sa hauteur dans la partie orientale, entre Zakil-Dak et Olon-Bainchen, ne dépasse guère 1 125 mètres d'après les mesures de M. Bunge, et son altitude moyenne se réduit même à 770 mètres, tandis qu'à l'ouest le lac de Lob atteint à peine 380 mètres. Mais cette plaine est traversée de l'est à l'ouest par les deux grands systèmes de montagnes du Kouenloun et de Thian-Chan, qui tendent à en modifier la température; elle est partagée, en outre, par un étranglement moins désert en deux moitiés, l'une orientale, l'autre occidentale. Voici maintenant de quelle manière les climats, les sols et les végétations varient de l'ouest à l'est sur une grande partie de cette énorme étendue. Le royaume de Kachgar (petite Bouckarie, lat. 29e degré nord), sur le versant oriental de la chaîne de Bolor, contient beaucoup de sables et peu de terres propres à la culture; mais celles-ci produisent des chanvres, du raisin, du blé et du riz : le climat est tempéré, les vents et les pluies arrivent régulièrement, quoique si peu abondantes qu'elles manquent quelquefois entièrement : il faut donc recourir aux irrigations pour l'ensemencement et la culture. Il en est de même entre Yar-Kand, Khotan et le lac Lob, à peu près sous la latitude de Lisbonne : les neiges y sont rares, les parties sablonneuses n'offrent çà et là qu'une végétation herbacée au milieu de laquelle s'élèvent quelques buissons rabougris, quelques abricotiers sauvages et quelques faux acacias. Enfin, vers l'extrémité est, auprès d'Erghi, la plaine est couverte de roseaux et d'halophites identiques aux plantes littorales de la mer Caspienne. Il faut ajouter que, dans le centre du Gobi, on trouve une série de lacs dans lesquels se perdent des fleuves considérables, et que les sables qui se trouvent sur cette étendue sont considérés par les Mongols comme les restes d'une mer intérieure, quoiqu'il ne faille pas en exagérer l'importance, car une partie du sol est rocheuse. Parmi les lacs indiqués ci-dessus, les plus importants sont, au nord, le Baba-Kul, le Bastu-Noor, le Barkul et le Turgut; à l'ouest, ceux de Lop-Noor, Gash-Noor et Chas-So; à l'est, le Tabsun-Noor, le Siao-Serteng et le Kharra; plus loin encore, à l'est, la contrée devenant essentiellement sableuse, ne présente plus de fleuve et se rapproche en cela du Sahara. Sur le versant septentrional de la chaîne de Thian-Chan, entre Ourocontsi et Illi, on indique des pluies, et auprès d'Ouromtsi, les neiges qui tombent en hiver couvrent le sol jusqu'à une épaisseur de 3m,10; elles sont naturellement encore plus abondantes sur la chaîne elle-même.

Un texte chinois, recueilli par M. de Humboldt, rapporte qu'autour de Tourfan (lat. 43°30′, comme Montpellier et Narbonne), « la

14.

» chaleur est excessive en été. Un parasol de feu couvre la voûte » du ciel, et des vents brûlants parcourent la circonférence du » pays. Sur la montagne sablonneuse qui s'étend au sud-est » comme une ceinture, on ne voit ni plantes ni arbres; en hiver, » il n'y a ni froids rigoureux ni grandes neiges : la terre fertile et » bien arrosée produit du froment, du lin, des melons doux, « des pastèques et des raisins; mais au sud, on ne voit que des » gobi, ou plaines de sables sur lesquelles les ânes et les chevaux » sauvages se trouvent réunis par dizaines et par centaines. »

En définitive, cette grande concavité dessine moins un désert absolu qu'une steppe différente, par sa position méridionale, des steppes russes et sibériennes : il y règne, sur les bords, des orages en juin et juillet, et il y tombe des neiges en hiver; quelquefois même la végétation de la partie sablonneuse moyenne, après avoir dépéri par la suspension prolongée des pluies, se développe avec vigueur lorsqu'elles abondent; en sorte qu'il faut encore ne voir là qu'un dernier exemple de la tendance qu'ont les savanes de toutes les parties du monde à passer à l'état de désert.

A l'opposite de l'Asie, nous ne trouvons qu'une seule grande île placée à peu près sous les mêmes parallèles que l'Arabie et l'Indoustan; c'est la Nouvelle-Hollande; mais son intérieur étant jusqu'à présent inconnu, l'absence des rivières et des sécheresses des vents sur toute l'étendue des côtes sont les seules probabilités que l'on puisse offrir pour appuyer l'absence de grandes masses d'eau dans ces parties centrales. Du reste, le climat y est variable.

En résumant actuellement les faits capitaux qui surgissent de cette revue, on voit :

1°. Qu'il faut distinguer, sous le rapport des pluies tropicales, deux grandes divisions atmosphériques, l'une soumise aux alisés, et l'autre aux moussons;

2°. Que cette dernière ne comporte pas de déserts absolus, parce que le jeu alternatif des moussons amène partout des pluies;

3°. Que cependant les effets de la chaleur tropicale, favorisée par quelques causes accessoires, telles que certaines brises, un sol naturellement maigre, l'absence des sources et des rivières, peuvent y produire des petits déserts locaux, ou du moins une grande aridité générale (Tehama, Ormus, Beloudschistan, Sindhy, Gobi);

4°. Que dans la division des alisés, les terres basses à structure uniforme, situées entre les zones des pluies intertropicales et des pluies subtropicales, ne reçoivent aucune pluie, et sont par conséquent douées d'une sécheresse absolue (Sahara, de l'Agoa, basse Californie, littoral péruvien);

5°. Qu'une forte élévation de sol en forme de plateau peut déterminer le rapprochement des deux régimes des pluies estivales et

hiémales, de manière qu'elles se manifestent consécutivement dans une seule et même contrée (partie nord du plateau mexicain);

6°. Enfin qu'une grande irrégularité du sol peut intervertir complétement l'ordre normal en provoquant des pluies hors de saison, même entre les tropiques (littoral du Brésil, Nouvelle-Orléans, etc., etc.).

Avant de terminer il nous a paru convenable de faire connaître plus particulièrement la valeur de quelques expressions dont nous nous sommes servi dans ce travail, ou qu'emploient les peuples des contrées plus ou moins désertes. Cette addition pourra faciliter la lecture des voyages; elle contribuera peut-être aussi à faire introduire quelques mots nouveaux dans notre langue, qui ne possède guère, sous ce rapport, que les expressions de *solitude* et de *désert* dont le sens est très-vague, en sorte qu'indépendamment de la pauvreté il y a défaut de précision, ce qui tient à ce que notre belle patrie, quelque variée qu'elle soit, n'offre, pour ainsi dire, aucune image réelle des différentes manières d'être de ces espaces continentaux.

Les mots de *savanes* et *pampas* se trouvent employés, l'un au sud de l'Amérique méridionale, l'autre au sud de l'Amérique septentrionale, pour désigner des plaines légèrement ondulées et généralement herbues. Ce sont de grandes prairies; cependant les *pampas* correspondent d'une manière plus précise aux savanes sèches, et, pour les savanes noyées, on a, comme équivalent, les *canadas*. Les *steppes* des Russes, les *yaïla* des Persans, désignent de même des champs plats, secs et pourtant herbeux, et les *llanos* du nord de l'Amérique méridionale, ainsi que les *karroo* de l'Afrique sud, n'en diffèrent que parce qu'ils sont sujets à devenir plus complétement arides dans les saisons des sécheresses.

Les *gobi* ou *cobi* des Mongols sont des déserts sablonneux; mais ce mot est appliqué en général, dans l'Asie septentrionale, à toutes les steppes sans eau, tandis que l'on appelle *khangaï* les parties arrosées et couvertes de végétation. Le *cha-mo* chinois est, à proprement parler, la *mer de sable*, une vraie *lande;* cependant cette expression n'est pas appliquée à la partie au delà de Hami, en sorte que les distinctions précédentes suffisent pour faire voir que les mots de cobi et de cha-mo, pris dans un sens collectif par les géographes, ne doivent pas s'appliquer à tout l'espace désigné ordinairement de cette manière, parce que ses diverses parties ont reçu des noms divers d'après leurs caractères.

Pour l'Africain septentrional, les *sahel* et *sahara* sont aussi de grands espaces unis, dont la différence roule sur les éléments constitutifs, sableux et mouvants dans le premier cas, rocailleux ou caillouteux comme la plaine de la Crau, dans le second. Cependant le sens de ces expressions varie; ainsi le sahel est aussi un pays ba-

layé par le vent, le rivage de la mer, et le sahara un lieu exposé au soleil; enfin, le sahary un désert où rien ne croît, ou bien, au contraire, un désert avec pâturages : aussi quelques épithètes servent à compléter l'image en la revêtant, pour ainsi dire, de la teinte locale; ainsi *Sahara-bila-mâ* et *Sahara-ul-aski* expriment le *désert sans eau* et le *désert complet*. Quant aux espaces plus circonscrits, si leur nudité est complète, ils prennent le nom d'*ozaoad;* s'ils offrent quelques herbes sèches, ce sont des *azgar*; et enfin s'il y règne une température modérée, ils sont désignés sous le nom de *haïr*.

La forme de plateau est exprimée, chez les Persans, par le nom de *pestchi-réfi*, et, chez les Arabes, par celui de *dacca;* enfin, dans l'Afrique septentrionale, les pays montagneux, accidentés, déchirés, entièrement nus, ou avec des vallées couvertes de végétation, sont désignés sous le nom de *harusch;* nos *garrigues* du Languedoc peuvent quelquefois en donner une idée.

SUR LA DÉCOMPOSITION DU GAZ ACIDE CARBONIQUE ET SUR CELLE DES CARBONATES ALCALINS PAR LA LUMIÈRE DU SOLEIL, ET SUR LE TITHONOTYPE;

PAR M. J.-W. DRAPER,

Professeur de Chimie à l'Université de New-York.

On sait depuis longtemps que les parties vertes des plantes placées sous l'influence de la lumière du soleil, possèdent la propriété de décomposer l'acide carbonique et d'en dégager l'oxygène. Il est étonnant que ce fait si important pour la physiologie végétale n'ait pas encore été l'objet d'une investigation approfondie. Les opinions qu'on rencontre dans les livres sur ce point sont souvent loin d'être correctes. On a dit quelquefois que le gaz oxygène qui se dégageait était pur, que la décomposition était produite par ce qu'on appelle les *rayons chimiques;* ces erreurs et une foule d'autres semblables se sont maintenues, et je ne sache pas que personne ait déjà essayé d'analyser ce phénomène à l'aide du prisme, seule manière dont on puisse le discuter réellement.

Dans un Mémoire du docteur Daubeny, inséré dans les *Transactions philosoph.* de 1836, il établit deux faits que je vérifierai dans ce Mémoire : 1° la présence constante du gaz azote mêlé avec l'oxygène, observation due originairement à Saussure ou à quelque auteur plus ancien; 2° que l'acte de la décomposition est dû à la LUMIÈRE du soleil. Ce dernier résultat, obtenu en employant des verres colorés ou un milieu absorbant, n'a pas été généralement admis. Il restera toujours du doute sur des résul-

tats obtenus de cette manière, et l'analyse par le prisme peut seule satisfaire les physiciens. Aussi, dans des livres estimables publiés depuis ce temps, a-t-on donné diverses autres interprétations de ce phénomène. (*Johnston's agr. Chem.*, lect. 5, § 7; *Graham's Chem.*, p. 1013).

Les expériences relatives à la décomposition de l'acide carbonique prennent un double intérêt par leurs relations avec la chimie organique et la physiologie, et il n'est peut-être pas d'expérience spéciale à laquelle on puisse attacher autant d'importance. En effet, si nous réfléchissons que cette décomposition est le point de départ entre l'organisation et la matière inerte; qu'avec cette action de la feuille commence la série des atomes organiques, tels qu'on les retrouve ensuite avec leur accroissement progressif dans le sang, dans la chair et enfin dans la matière cérébrale, on verra qu'on doit s'attacher d'une manière toute particulière à préciser les phénomènes de ce premier fait. Les rayons du soleil sont cause de toute organisation.

Il n'y a qu'une manière d'éclaircir ce fait, c'est d'exécuter l'expérience au moyen du prisme. Seulement, lorsqu'on considère combien la dispersion des rayons par l'action du prisme affaiblit les effets, et combien est grande la perte de lumière due à la réflexion de ses surfaces, il peut paraître difficile d'arriver par ce moyen à une détermination certaine; pourtant, encouragé par la pureté du ciel d'Amérique, j'ai tenté l'expérience et elle a été couronnée d'un succès complet.

Avant de rendre compte des expériences que j'ai faites, je dois attirer spécialement l'attention des chimistes sur les véritables caractères de ces émanations que je désigne sous le nom de *rayons tithoniques*. Il ne suffit pas d'admettre l'existence, dans le spectre, de rayons obscurs, possédant le pouvoir de produire des changements chimiques; il ne suffit pas que nous les appelions des *rayons chimiques;* ils ont encore des propriétés distinctives essentielles qui en font des rayons parfaitement distincts de ceux auxquels on attribue la lumière et la chaleur. Leur droit au rang d'un agent distinct et impondérable me semble aussi positif que celui de la lumière ou de la chaleur. On peut les distinguer de la chaleur en ce qu'ils ne sauraient suivre des conducteurs métalliques et qu'ils n'ont pas le pouvoir de déterminer la dilatation des corps; et de la lumière en ce qu'ils ne produisent aucune impression sur les organes de la vue. Ainsi, selon les règles reconnues de la philosophie naturelle, on doit les considérer comme un quatrième agent impondérable.

Il ne suffit pas, comme nous l'avons dit, de les appeler *rayons chimiques;* ce terme indiquerait que le caractère qui les distingue consiste dans le pouvoir de changer la composition des corps. Mais les rayons de la chaleur n'amènent-ils pas des changements semblables? la moitié des décompositions n'ont-elles pas lieu en

chimie par l'action du calorique? Quant à la *lumière*, on connaît déjà plus d'un cas où elle produit des décompositions et des combinaisons, et, comme nous le montrerons bientôt, c'est par cet agent qu'a lieu la décomposition de l'acide carbonique. La faculté de produire cet effet n'est pas la qualité distinctive des rayons tithoniques, et le nom de *chimiques* ne doit pas leur être plus appliqué qu'à aucun de leurs compagnons déjà connus. *A moins, par conséquent, que les chimistes n'admettent qu'il peut exister une espèce de chaleur qui n'a ni la faculté de dilater les corps, ni celle de donner la sensation de la chaleur, ni celle de se transmettre par des conducteurs; à moins qu'ils n'admettent que la lumière peut exister d'une manière assez modifiée pour produire à nos yeux la sensation de l'obscurité, ils seront forcés de considérer les rayons tithoniques comme constituant un quatrième agent impondérable.* Le nom qu'ils adopteront est peu important, mais celui qui sera le moins sujet aux hypothèses sera le meilleur. Les Mémoires que j'ai insérés dans ce journal n'ont pas eu pour but de montrer uniquement qu'il existe dans le spectre une classe de rayons invisibles, fait qui est connu depuis longtemps; mais j'ai voulu donner la véritable relation de ces rayons avec d'autres corps et d'autres forces, établir leur titre de quatrième agent distinct impondérable, et leur assurer ce titre en leur donnant un nom.

Lorsque les feuilles de plantes sont placées dans de l'eau dont tout l'air a été expulsé par l'ébullition et qu'elles sont exposées aux rayons du soleil, elles ne dégagent aucune espèce de gaz. Lorsqu'on les place dans de l'eau de fontaine ou de puits ordinaire, il se forme promptement des bulles, qui, réunies et analysées, se trouvent être un mélange de gaz oxygène et de gaz azote. Une quantité donnée d'eau produit une quantité d'air régulière. Lorsqu'on les met dans de l'eau qu'on a fait bouillir, et qui a été ensuite imprégnée d'acide carbonique, la décomposition a lieu rapidement, et il se dégage une grande quantité de gaz.

La conclusion qu'on semble d'abord pouvoir tirer de ces faits, c'est que tout l'oxygène provient de la décomposition directe de l'acide carbonique. Nous examinerons si c'est ce qui a lieu en effet.

M'étant procuré de l'eau libre de tout air, en la faisant bouillir et refroidir à plusieurs reprises, je la saturai de gaz acide carbonique; je réunis aussi quelques feuilles d'herbe et je dépouillai soigneusement leur surface de toutes les bulles d'air qui pouvaient y adhérer, en les tenant sous l'eau chargée d'acide carbonique durant trois ou quatre jours; je fis ensuite remplir d'eau chargée d'acide carbonique sept tubes de verre, ayant chacun 13 millimètres de diamètre et 18 centimètres de long, et je plaçai dans la partie supérieure de chacun d'eux le même nombre de tiges d'herbe, en ayant soin qu'elles fussent pareilles les unes aux autres autant que possible. Tous les tubes furent insérés l'un auprès de l'autre dans une petite cuve pneumatique en porcelaine : on doit

faire observer que les tiges paraissaient d'un vert pur, vues dans l'eau. On n'y voyait attachées ni membranes, ni bulles d'air, comme on en voit souvent sur les feuilles récemment cueillies. On prit grand soin, pendant toute la durée de l'expérience, de se préserver de l'introduction de l'air extérieur.

On plaça alors le petit appareil de manière qu'un spectre solaire, tenu immobile par un héliostat et dispersé par un prisme de cristal dans une direction horizontale, tombât sur les tubes. En rapprochant l'appareil du prisme ou en l'éloignant, les espaces diversement colorés pouvaient tomber à volonté sur les feuilles; le rayon de lumière avait environ 20 millimètres de diamètre. Au bout de quelques minutes, les tubes sur lesquels tombait la lumière orange, jaune et verte commencèrent à dégager de petites bulles de gaz; et au bout d'une heure et demie, la quantité en fut assez considérable pour pouvoir être mesurée exactement.

Le gaz réuni dans chaque tube ayant été transporté dans un autre vase et sa quantité ayant été déterminée, on exposa librement aux rayons du soleil le petit appareil avec tous ses tubes. Ils commencèrent bientôt tous à dégager activement du gaz qui, réuni et mesuré, servit à montrer le pouvoir spécial de chaque tube. Lorsque les feuilles contenues dans un tube étaient plus humides ou qu'elles exposaient une moindre surface, la quantité de gaz contenue dans le tube où elles étaient renfermées était moindre comparativement. On doit bien penser que je ne pus jamais arranger les tubes de manière qu'ils fussent précisément semblables; mais, avec un peu d'habitude, je réussis à les égaliser presque complétement, et je n'omis jamais, après chaque expérience faite au spectre, de me rendre compte du pouvoir que possédait chaque tube pour émettre le gaz.

Tableau de la décomposition de l'acide carbonique par la lumière de diverses couleurs.

EXPÉRIENCE N° I.		EXPÉRIENCE N° II.	
Nom du rayon.	Volume de gaz.	Nom du rayon.	Volume de gaz.
Rouge intense	0,33	Rouge intense et rouge.	"
Rouge et orange	20,00	Rouge et orange	24,75
Jaune et vert	36,00	Jaune et vert	43,75
Vert et bleu	0,10	Vert et bleu	4,10
Bleu	"	Bleu	1,00
Indigo	"	Indigo	"
Violet	"	Violet	"

On voit, par conséquent, que les rayons qui amènent la décomposition du gaz acide carbonique ont la même place dans le spectre que l'orange, le jaune et le vert; et que le rouge intense, le bleu, l'indigo et le violet n'exercent aucune influence perceptible. D'après cela, nous devons penser qu'en faisant passer un rayon à travers un milieu absorbant d'une nature telle que le rouge intense, le bleu, l'indigo et le violet fussent absorbés, la décomposition pourrait se continuer. Une dissolution de bichromate de potasse remplit à peu près ces conditions, et elle absorbe non-seulement les rayons lumineux en question, mais encore tous les rayons tithoniques, si ce n'est la trace de ceux qui correspondent au jaune le plus réfrangible et au vert le moins réfrangible.

On trouve une preuve remarquable de l'exactitude de l'analyse prismatique précédente, en faisant agir les feuilles sur de l'eau chargée de gaz carbonique dans une lumière qui a passé à travers une dissolution de bichromate de potasse. Je pris une boîte de bois ayant environ 35 centimètres cubes, et en ayant enlevé le fond, j'y ajustai une auge faite de pièces de verre. La boîte étant placée sur un bout, son couvercle servant de porte, et l'auge étant remplie d'une dissolution de bichromate de potasse à travers laquelle passaient les rayons du soleil, on plaça dans l'intérieur de la boîte un mélange de feuilles et d'eau chargée de gaz carbonique qui se trouva exposée aux rayons qui avaient échappé à l'absorption. La couche de liquide avait environ 13 millimètres d'épaisseur. Je fis faire plusieurs boîtes pareilles, afin de pouvoir comparer l'effet simultané de la lumière qui avait subi l'absorption en passant par différents milieux. Elles formaient une série de petites cellules dans lesquelles les corps pouvaient être exposés à une lumière colorée en bleu, jaune, rouge, etc., etc.

Lorsqu'on commençait une expérience dans une de ces boîtes, on en commençait en même temps une semblable aux rayons libres du soleil; il est inutile d'ajouter qu'on prit soin, dans toutes ces expériences, de rendre aussi semblables que possible les diverses causes de décomposition.

En comparant le total du gaz dégagé dans la lumière non absorbée et celui dégagé dans la lumière qui avait subi l'absorption par le bichromate de potasse, on trouve, dans trois expériences sur cinq, que le gaz réuni dans cette dernière expérience excédait en volume celui réuni dans la première, ce qui provient sans doute de la température un peu plus élevée qu'il y avait dans la boîte.

En comparant le volume de gaz recueilli sous le bichromate de potasse et celui recueilli sous l'eau colorée par le tournesol, on voit que le dernier n'était pas égal à la moitié du premier.

Je comparai le gaz dégagé à la lumière libre, sous le bichromate de potasse et sous le sulfate de cuivre ammoniacal; voici quels furent les résultats :

Lumière libre..............	4,75
Bichromate de potasse.......	4,55
Sulfate de cuivre ammoniacal.	0,75

En comparant ces expériences faites à l'aide d'un milieu absorbant, avec celles faites par le prisme, on peut arriver à une conclusion définitive en ce qui concerne le caractère des rayons qui causent cette décomposition.

Le véritable but de l'analyse prismatique est de déterminer la réfrangibilité des rayons qui produisent une action donnée. Mais, comme les rayons de chaleur, les rayons de lumière et les rayons tithoniques traversent le spectre, dans plusieurs cas le prisme n'indique pas auquel de ces agents impondérables le phénomène doit être attribué. Le cas actuel nous en donne un exemple frappant. Quoique la décomposition de l'acide carbonique se produise plus énergiquement au moyen des rayons dont l'indice de réfraction correspond au jaune, cependant cette région du spectre est loin de manquer de chaleur et de tithonicité.

Toutefois, en s'attachant à la fois à l'analyse prismatique et à l'analyse d'absorption, on arrive aux faits suivants : 1° La place du maximum d'action dans le spectre correspond au maximum de clarté (*illumination*); 2° à la place du maximum de chaleur (qui, dans le prisme que j'ai employé, est au delà du rouge intense), aucune décomposition n'a lieu, ce qui semble, par conséquent, exclure l'influence du calorique; 3° le point du maximum de l'action des rayons tithoniques qui échappent à l'absorption par le bichromate de potasse étant près du vert, il ne correspond pas avec la place du maximum de décomposition, qui est le jaune : ce qui semble exclure les rayons tithoniques; 4° la décomposition ayant lieu presque aussi énergiquement sous le bichromate de potasse que dans les rayons libres du soleil, et ce sel absorbant tout, à l'exception d'une faible trace de rayons tithoniques, si cet effet leur était dû, il devrait être retardé dans un rapport correspondant à leur perte par l'absorption, et ce n'est pas ce qui arrive. Le retard qu'on observe semble plutôt devoir être attribué à la perte de lumière par réflexion des faces de l'auge, et au défaut de transparence parfaite de ses glaces et de la dissolution.

D'après ces raisons, je conclus que la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles des plantes est produite par les rayons de la *lumière*, et que les rayons caloriques et tithoniques ne participent pas au phénomène. Ainsi donc, comme nous l'avons dit précédemment, les rayons de lumière méritent aussi bien le nom de rayons chimiques que ceux qu'on a désignés jusqu'à présent sous ce nom.

Je dois faire aussi observer qu'il y a un degré de précision attaché aux résultats de la décomposition de l'acide carbonique qui manque totalement dans la plupart des expériences de ce genre.

Dans les taches qu'on rencontre sur les plaques du daguerréotype ou sur le papier photographique, quoiqu'on puisse facilement reconnaître la place du maximum, on ne peut cependant rien obtenir sous forme de mesure de quantités absolues. Pourtant, lorsqu'on peut recueillir un gaz et en déterminer le volume comme dans le voltamètre et dans les expériences que je viens de décrire, les résultats out un degré d'exactitude qui permet d'en tirer des conclusions définitives.

Déterminons maintenant la composition du mélange gazeux qui se dégage durant leur décomposition. Ce n'est pas de l'oxygène pur, comme on l'a souvent supposé et souvent réfuté, mais un mélange d'oxygène, d'azote et d'acide carbonique. C'est principalement vers la proportion des deux premiers que l'attention a été dirigée; la proportion du dernier varie dans chaque essai. Mais, avant de continuer, j'ai à faire quelques observations dont les résultats, quoique familiers aux chimistes accoutumés aux analyses de gaz, méritent de prendre place ici, car elles semblent avoir été complétement négligées dans la plupart des expériences qui concernent ce qu'on appelle la respiration des plantes et qu'on devrait plutôt appeler leur digestion.

Lorsqu'un gaz, de quelque espèce qu'il soit, est placé sur l'eau dans la cuve pneumatique, sa constitution subit un changement complet. Une portion se dissout plus ou moins lentement dans l'eau, et en échange il reçoit de l'eau une portion du gaz qu'elle tient en dissolution. Si deux vases remplis de gaz différents restent à côté l'un de l'autre sur la table, leur constitution se modifie réciproquement, et ce trouble ne cesse que lorsque le contenu des deux vases devient chimiquement semblable. Il y a quelques belles expériences d'une exécution facile, qui montrent combien les vapeurs et les gaz peuvent ainsi facilement filtrer à travers les fluides. Prenez, par exemple, une bouteille d'une pinte et faites passer au milieu du bouchon qui doit la fermer lâchement, un tube de verre de 33 centimètres de long, et plus étroit à son extrémité supérieure; mettez ensuite dans la bouteille quelques gouttes d'ammoniaque; trempez le gros bout du tube dans une dissolution de savon, et introduisez-le dans l'intérieur de la bouteille, en le plaçant de telle sorte dans le bouchon, que lorsqu'on souffle de l'air dans le bout plus étroit, les bulles qui sortent du bout large puissent occuper le milieu de la bouteille. Plaçant alors les lèvres sur l'extrémité supérieure, soufflez une bulle de 3 centimètres au moins de diamètre, et, sans perdre de temps, attirez de nouveau avec soin l'air de l'intérieur de la bulle dans la bouche; vous ressentirez immédiatement un goût d'ammoniaque très-prononcé. Il est donc clair que l'ammoniaque a passé avec une grande rapidité à travers la bulle.

Il y a encore une expérience plus instructive qu'on peut facilement faire : on prend une bouteille de 90 grammes avec un large

goulot, et on en ferme l'ouverture par une couche d'eau de savon en passant dessus le doigt mouillé; on le place sous un vase de protoxyde d'azote : au même instant la position horizontale de la couche est dérangée; elle se gonfle en s'élevant et s'étend spontanément, à cause du passage du gaz, sous forme de bulle. La variété de couleur qui accompagne cette expérience et la minceur excessive que la couche finit par prendre, rendent cette expérience une des plus belles qu'on puisse faire en chimie; mais lors même que la bulle est presque invisible à cause de son inaptitude à réfléchir la lumière et qu'on ne peut la voir que dans certaines positions, elle remplit encore sa fonction filtrante.

Cette filtration des gaz à travers les liquides a lieu même en employant l'huile ou toute espèce de liquide que les botanistes aient pu imaginer. A travers l'huile de lampe ordinaire, le baume de copahu, etc., le gaz hydrogène s'échappe avec rapidité, et le protoxyde d'azote et l'acide carbonique encore plus vite. La loi qui règle ces phénomènes est très-simple : le gaz s'échappe à travers le milieu qui le contient avec une rapidité proportionnée à sa solubilité dans celui-ci.

On comprend donc que lorsque l'acide carbonique est décomposé comme dans les expériences que nous avons rapportées, une proportion variable de ce gaz se mêle avec l'oxygène qu'on recueille. Les proportions doivent être variables, car elles dépendent du total d'acide carbonique qui reste dans l'eau, de la promptitude avec laquelle l'expérience a été conduite, et de quelques autres conditions qui peuvent varier. Par conséquent, comme je l'ai déjà dit, je ne m'occuperai pas de l'acide carbonique en discutant l'analyse des gaz réunis, parce que sa présence est accidentelle et ne se lie pas essentiellement avec le phénomène, si ce n'est dans le cas où l'on emploie la chaleur obscure, comme nous allons le dire.

Analyse de l'air qui se dégage de l'eau chargée d'acide carbonique au soleil.

Expérience.	Nom de la plante.	Oxygène.	Azote.
1.	*Pinus tæda*	16,16	8,34
2.	*id.*	27,16	13,84
3.	*id.*	22,33	21,67
4.	*Poa annua*	90,00	10,00
5.	*id.*	77,90	22,10

Je dois faire remarquer que ce tableau contient quelques expériences prises parmi un grand nombre qui auraient pu être toutes citées à l'appui des conclusions que je pense pouvoir en tirer.

1°. Elles coïncident toutes sur un point, savoir que l'oxygène ne se dégage jamais sans l'apparition simultanée de l'azote.

2°. Lorsqu'on emploie certaines feuilles, comme celles du *Pinus tæda*, il semble y avoir un rapport très-simple entre le volume de l'oxygène et celui de l'azote. Dans la première et dans la seconde de ces expériences le volume de l'oxygène est à celui de l'azote comme 2 est à 1, et dans la troisième, comme 1 est à 1. Dans certains cas, cette simplicité apparente de proportion n'existe pourtant pas; mais l'ayant trouvée dans plusieurs analyses, elle doit être prise en considération. Dans d'autres plantes, ainsi qu'on le voit dans les expériences 4 et 5, le total de l'oxygène est proportionnellement plus grand, et il ne paraît y avoir entre lui et l'azote aucune proportion exacte.

Afin de m'assurer si les décompositions qui ont lieu sous un milieu absorbant, comme le bichromate de potasse, produisent les mêmes résultats que ceux que j'ai indiqués dans le tableau précédent, j'ai fait plusieurs analyses de gaz recueillis dans ces circonstances. La présence du milieu absorbant ne semble, du reste, exercer aucune influence, car les résultats généraux sont les mêmes que s'il n'existait pas.

C'est une observation populaire répandue depuis longtemps, que la lumière du soleil éteint le feu. Je ne sais si cette supposition a quelque fondement, et si dans ce cas ce phénomène se lierait avec les rapports que la lumière a avec le carbone et l'oxygène. L'opinion populaire attribue cet effet à la lumière et non à la chaleur des rayons.

Pour reconnaître si la chaleur rayonnante, sans être accompagnée de lumière, a le pouvoir de produire la décomposition de l'acide carbonique à travers les feuilles, je plaçai dans le foyer d'un grand miroir concave de cuivre un vase contenant quelques feuilles de pin dans de l'eau chargée d'acide carbonique. Le miroir fut placé devant un feu de bois, et au bout de peu de temps les feuilles commencèrent à dégager des bulles. La température de l'eau s'éleva jusqu'à 60 degrés, et lorsqu'on eut réuni assez de gaz, l'examen prouva que sa presque totalité était absorbée par l'eau de chaux ou de potasse. Il est évident par là que la chaleur rayonnante dégage simplement l'acide carbonique, mais ne le décompose pas. Cela confirme par conséquent le résultat de l'analyse pneumatique qui prouve que c'est la lumière et non la chaleur qui produit le changement.

Décomposition des sels alcalins.

Ayant établi dans quelles conditions le gaz acide carbonique se décompose, nous nous occuperons actuellement de la description des décompositions semblables qui se présentent dans les corps salins. Les chimistes se sont toujours étonnés que l'affinité puissante

qui réunit le carbone et l'oxygène puisse être si facilement détruite à une température moyenne. Le potassium même ne peut décomposer l'acide carbonique à froid. On doit par conséquent supposer que les forces énergiques qui amènent ce changement doivent aussi produire d'autres décompositions remarquables. En effet, ainsi que je vais à présent le démontrer, la décomposition de l'acide carbonique fait partie d'une série très-nombreuse de faits semblables.

Les bicarbonates alcalins, comme on le sait, se décomposent par une légère élévation de température; lorsqu'on les fait bouillir dans l'eau, ils abandonnent graduellement leur second atome d'acide et passent lentement à la condition de carbonate neutre. Cette facilité de décomposition m'a porté à rechercher si des feuilles vertes, sous l'action de la lumière du soleil, effectueraient le dégagement et par conséquent la réduction de l'acide. On doit observer que dans les expériences suivantes on n'a pas fait bouillir le sel assez longtemps pour affecter d'une manière sensible sa constitution, et que jamais on n'a retiré, durant le refroidissement du liquide, aucune proportion d'acide carbonique libre au moyen de la pompe à air. La dissolution, lorsqu'on l'employait, ne contenait aucunes matières gazeuses, mais uniquement le sel dissous dans l'eau.

Après avoir fait bouillir de l'eau distillée pour en expulser toute matière gazeuse, dissolvez-y une petite quantité de bicarbonate de soude; introduisez dans une éprouvette quelques feuilles d'herbes; remplissez le tube avec la dissolution saline qu'on a fait encore bouillir pour expulser tout l'air qu'a pu y mettre le sel en se dissolvant, et renversez le tube dans un verre contenant une partie de la dissolution, après avoir soigneusement ôté toutes les bulles d'air adhérentes aux feuilles avec un morceau de fil d'archal ou par tout autre moyen. Tant que cet appareil est gardé dans l'obscurité, il ne subit aucun changement; mais si on le place au soleil, il se dégage rapidement des bulles de gaz, et au bout de quelques heures le tube est à moitié plein. Ce gaz, par sa détonation lorsqu'il est mis en contact avec l'hydrogène, prouve qu'il est riche en oxygène.

J'ai fait quelques recherches pour m'assurer combien d'oxygène pourrait se dégager de cette manière dans une quantité connue de bicarbonate de soude, pensant que lorsque le second atome d'acide carbonique serait dégagé et décomposé, l'action cesserait. Je n'ai pas besoin de rendre compte en détail de ces essais, car ils prouvèrent que cette supposition n'était pas fondée. L'action ne se borne pas au dégagement et à la décomposition du second atome, mais elle se continue, et le premier atome se décompose de la même manière. On devait penser, d'après cela, que le carbonate de soude se décomposerait aussi; l'expérience, en effet, a con-

firmé cette supposition, car, en employant ce sel au lieu du bicarbonate, le dégagement de l'oxygène a eu lieu juste de la même manière.

Comme dans ces expériences le sel solide dissous dans l'eau se décompose, il est clair que la fonction au moyen de laquelle les feuilles agissent est très-différente de celle de la respiration; ce n'est pas la respiration, mais plutôt une véritable digestion.

M. Liebig a démontré que l'ammoniaque existe dans la séve ascendante. Il est probable par conséquent qu'il ne subit pas un changement final avant d'atteindre la surface supérieure de la feuille. Reste à savoir s'il s'y retrouve sous la forme de carbonate.

Nous devions nous attendre, d'après cette expérience naturelle, qu'en employant le carbonate d'ammoniaque au lieu des sels de soude de la dernière expérience, nous obtiendrions les mêmes effets. Nous trouvâmes effectivement que les feuilles subissaient leur décomposition en employant le sesquicarbonate d'ammoniaque médicinal. Il a fourni, dans un grand nombre d'expériences, le dégagement d'un gaz contenant plus de 90 pour 100 d'oxygène.

Dans toutes les circonstances où je l'ai examiné, le gaz dégagé par les feuilles n'est pas de l'oxygène pur, mais, comme je l'ai déjà dit, c'est un mélange variable d'oxygène et d'azote. Ce résultat a toujours lieu, car je l'ai observé à des latitudes où le soleil est extrêmement brillant et sur des plantes diverses; et, d'après le Mémoire du docteur Daubeny, il paraîtrait qu'il l'a également toujours obtenu en Angleterre.

Les qualités remarquables que certaines substances azotées déploient en agissant comme ferments lorsqu'elles se décomposent, pourraient conduire à supposer que la décomposition de l'acide carbonique dans les feuilles est due à l'action de quelque corps azoté dont l'*eremacausie* est provoquée par les rayons du soleil.

Il existe plusieurs faits qui semblent prouver que la décomposition de l'acide carbonique est un résultat secondaire produit par l'action d'un ferment azoté en état d'eremacausie; la lumière du soleil agissant d'abord sur le ferment lui-même, les plantes peuvent croître jusqu'à un certain point dans les endroits obscurs, et si les observations des botanistes sont exactes, bien que cette espèce de croissance soit anormale, elle augmente accidentellement le poids total du carbone. Il importe peu que, dans ces cas, le ligneux puisse souvent manquer, car d'autres substances de nature amilacée ou gommeuse se montrent alors, et des résultats de ce genre servent à prouver que quoique, dans les cas ordinaires, l'union du carbone avec les éléments de l'eau soit un effet de la lumière, il y a pourtant des cas où, soit par l'action du ferment, soit par d'autres éléments existants dans les plantes, on peut arriver au même résultat.

M. Boussingault dit que de l'herbe séchée dans de l'air à 100 degrés, et brûlée avec de l'oxyde de cuivre, dégage 1,3 pour 100 de son poids sec d'azote, lequel azote est par conséquent en combinaison. Je pense que le tissu même de la feuille renferme en outre une certaine quantité de gaz qu'on peut enlever au moyen de la pompe à air; je présume que cet air est naturellement renfermé dans les vaisseaux en spirales. Lorsqu'on place des feuilles dans un vase renversé avec de l'eau bouillante dans le vide, ce gaz se dégage: il sort d'abord en abondance principalement de l'extrémité coupée; mais, à mesure que l'opération se prolonge, il se dégage des deux faces de la feuille, peut-être en ouvrant le frêle tissu qui le tenait emprisonné. Dans les feuilles qui n'ont de stigmates que d'un côté, il ne paraît pas sortir de préférence par ces organes, ce qui doit faire supposer qu'il n'existe pas normalement dans les espaces intercellulaires. Sa proportion, dans un poids connu de feuilles, est très-irrégulière; il a varié dans mes expériences de 0,1 jusqu'à 0,2 pouces cubes pour 10 grains de feuilles. Sa composition, ainsi que le prouve l'analyse, est aussi très-variable, mais très-remarquable; elle contient de 88 à 94 pour 100 d'azote.

On voit donc que le tissu de la feuille renferme mécaniquement une certaine quantité de gaz qui diffère de l'air atmosphérique en ce qu'il contient un plus grand volume d'azote qu'on peut enlever par la pompe à air. Il restait à savoir si c'était cet azote qui fournissait ce surplus trouvé dans le gaz exhalé par les feuilles. L'expérience suivante prouve le contraire.

Je chassai, par une ébullition prolongée, tout l'air contenu dans une dissolution de bicarbonate de soude. J'enlevai aussi tout l'azote de quelques feuilles d'herbe en les plaçant dans le vide, plongeant dans de l'eau qu'on avait fait bouillir et ensuite refroidir. Je mis ensuite ces feuilles dans la dissolution de bicarbonate, en les plaçant dans les vases où l'expérience devait se terminer. Je les tins dans le vide pendant une heure, afin de les débarrasser complétement de cette enveloppe d'air atmosphérique qui adhère toujours à la surface des vases de verre, et qui aurait changé le résultat en fournissant de l'azote. Les feuilles furent ensuite exposées dans la solution saline aux rayons du soleil, et le dégagement du gaz commença aussitôt. Après en avoir réuni une assez grande quantité, je vis qu'il contenait 88 pour 100 d'oxygène et 12 pour 100 d'azote.

En répétant cette expérience, je me suis assuré que, bien que l'azote renfermé naturellement dans la feuille se mêle jusqu'à un certain point avec l'oxygène qui se dégage, et qu'il n'en puisse arriver autrement, à cause de la diffusion des gaz l'un dans l'autre, cependant on doit chercher sa véritable source dans quelque composé azoté qui, sans doute, existe dans la feuille, et qui subit la décomposition d'une manière régulière.

Si nous gardons présent à notre esprit ce fait, que la production de l'azote qu'on trouve ainsi mélangé avec l'oxygène qui se produit sous l'influence de la lumière, est due à quelque corps azoté qui existe dans la feuille, l'expérience suivante démontrera quelle est la belle et simple loi qui dirige ce phénomène.

Saussure a déjà établi que, lorsque les plantes croissent dans une atmosphère d'un volume connu contenant du gaz acide carbonique, après que la décomposition du gaz est complète, le volume total reste le même. Comme mes expériences étaient faites avec des feuilles plongées dans l'eau, je désirais savoir si, placé dans ces circonstances, j'obtiendrais encore le même résultat.

Je fis passer dans une certaine quantité d'eau, dont tout l'air avait été expulsé et que j'avais placé dans un vase sur le mercure, 20 mesures de gaz acide carbonique; en l'agitant un peu, l'eau en garda 15,50 mesures. J'introduisis ensuite dans le vase quelques feuilles en prenant le plus grand soin de ne pas y renfermer de bulle d'air; le vase fut alors placé au soleil, et la décomposition eut lieu. Correction faite pour la variation de température et pour la pression, le volume restant du gaz dans les deux expériences fut de 20, c'est-à-dire précisément le même que celui de l'acide carbonique.

Nous pouvons, par conséquent, établir que le volume des gaz mélangés qui se dégagent est précisément égal au volume d'acide carbonique qui disparaît; ce qui nous conduit à des conclusions très-remarquables.

Lorsque les feuilles, sous l'influence de la lumière, décomposent l'acide carbonique, elles assimilent tout le carbone, et une certaine portion d'oxygène disparaît; en même temps, elles émettent un volume d'azote *égal à celui de l'oxygène consommé.* La disparition de l'oxygène et la présence de l'azote sont donc liés l'un à l'autre : ce sont des phénomènes équivalents.

On voit par là que l'émission du gaz azote n'est pas un résultat accidentel, mais qu'il se lie profondément avec toute l'action physiologique.

J'arrive aussi à cette même conclusion par des expériences d'une autre espèce. Si l'on obtenait l'azote qui se montre avec l'oxygène par la diffusion du gaz enfermé mécaniquement dans le parenchyme de la feuille, il est clair, d'après le mode d'opération que j'ai suivi, par lequel les feuilles sont plongées dans l'eau, et où elles n'ont aucun moyen de reprendre l'air qu'elles renfermaient naturellement, il est clair, dis-je, que, s'il se trouvait leur être ôté, les premières portions de gaz mêlés qui se dégagent seraient plus riches en azote, et qu'elles le deviendraient de moins en moins à mesure qu'elles sortiraient de la feuille, ainsi que cela doit être d'après la loi de la diffusion des gaz; mais ce n'est nullement cela qui a lieu. Il arrive habituellement qu'il se dégage plus

d'azote à la fin de l'opération qu'au commencement; ainsi, dans une des expériences que je fis, et dans laquelle on trouva 22,2 pour 100 d'azote dans le volume total résultant, les qualités dégagées à trois périodes d'examen depuis le commencement jusqu'à la fin de l'expérience furent :

Première période..	21,8 pour 100 d'azote.
Deuxième période..	18,8
Troisième période..	26,0

Ainsi, durant le cours de cette décomposition, il se dégagea proportionnellement plus d'azote vers la fin de l'expérience qu'au commencement.

Je conclus, par conséquent, de ce résultat que l'azote émis par les feuilles provient de la décomposition de quelque corps azoté, et non de l'air enfermé mécaniquement dans leurs pores.

Voici donc les résultats de mes expériences :

1°. L'azote vient du tissu de la feuille elle-même, car il s'en dégage trois fois plus du carbonate de soude qu'on ne peut en enlever à la feuille en dosant l'azote qu'elle peut contenir en la soumettant au vide sous l'eau;

2°. En douze heures, les feuilles dégagent plus de cinq fois leur propre volume de matière gazeuse du bicarbonate de soude;

3°. La quantité d'azote contenue dans les feuilles est suffisante pour fournir tout l'azote qu'on trouve dans le gaz dégagé : d'après les analyses de M. Boussingault, il paraît qu'elles contiennent à peu près dix fois la quantité nécessaire;

4°. La décomposition de quelque matière azotée de la feuille est essentielle au dégagement de l'azote; il n'y a point d'autre source possible.

Au point où en est la question, on doit remarquer une analogie remarquable entre la fonction de la digestion chez les animaux et cette même fonction dans les plantes. M. Liebig a démontré comment, par la transformation subie dans l'estomac lui-même, la nourriture se transforme en chyme, espèce de fermentation obscure produite par l'action des corps azotés. Par conséquent, ici comme dans les plantes, la décomposition d'un corps azoté se lie intimement avec l'assimilation du carbone; car, comme je l'ai dit, l'opération dont nous parlons est une vraie fonction digestive et non respiratoire; et comme il y a des faits qui semblent démontrer que l'action primaire de la lumière n'agit pas sur l'acide carbonique, mais sur le ferment azoté, la décomposition du gaz s'ensuit, comme résultat secondaire; n'est-il pas probable que la CHLOROPHYLLE est le corps qui, dans les végétaux, correspond au CHYLE des animaux? L'oxygène qui disparaît durant la décomposition de l'acide carbonique ne disparaît que pour ramener l'eremacausie du corps azoté. La gomme, l'amidon, le ligneux et les autres constituants

carbonés des plantes n'y ont-ils pas tous existé originairement et passé par l'état vert? C'est le fait de la matière rayonnante de déterminer la position des atomes et le groupement des molécules; et, pour arriver à ce but, le soleil, le grand organisateur, ou, pour mieux dire, le grand vivificateur de toutes choses, fournit de siècle en siècle ses éternels rayons. Tout nous porte donc à supposer raisonnablement que ces analogies entre les fonctions organiques des plantes et des animaux existent réellement, et elles semblent s'accorder d'une manière satisfaisante avec le plan général de la nature.

SUR LA BATTERIE VOLTAIQUE A GAZ. — EXPÉRIENCES FAITES DANS LE BUT DE DÉTERMINER LA CAUSE DE SON ACTION ET SON APPLICATION A L'EUDIOMÉTRIE;

PAR M. W.-R. GROVE.

(Tiré du *Philosophical Magazine*, avril 1844.)

Traduit de l'anglais par M. ALLUARD.

Dans le *Philosophical Magazine* de décembre 1842, j'ai publié la description d'une batterie voltaïque où les éléments actifs étaient des gaz, et qui opérait la décomposition de l'eau au moyen de sa recomposition.

La batterie décrite dans ce journal consistait en une série de tubes contenant des lames de platine couvertes d'un dépôt pulvérulent de ce métal; le platine passait au travers de la partie supérieure des tubes qui était fermée par du mastic, leur extrémité inférieure restant ouverte. Ces tubes étaient disposés séparément par couples dans des vases d'acide sulfurique dilué, et, dans chaque couple, un tube était rempli d'oxygène, et l'autre d'hydrogène, de manière que le platine se trouvât en contact avec l'acide dilué; on avait établi une communication métallique entre le platine de chaque tube à oxygène et celui du tube à hydrogène voisin. On avait arrangé de la sorte une série voltaïque de 50 couples; on obtint avec cette batterie les résultats suivants:

1°. Les commotions étaient ressenties par cinq personnes se donnant la main;

2°. L'aiguille d'un galvanomètre assez sensible était fortement déviée, et s'arrêtait d'une manière permanente à 60 degrés;

3°. Un électroscope à feuilles d'or était notablement affecté;

4°. On obtint, entre deux pointes de charbon, une étincelle visible et brillante à la clarté du jour;

5°. On décomposa successivement de l'iodure de potassium, de l'acide chlorhydrique, et de l'eau acidulée par de l'acide sulfurique; dans la décomposition de l'eau, on obtint assez de gaz pour les réunir et les faire détoner. Les gaz se dégageaient, comme l'indiquait la théorie chimique, l'hydrogène allant suivant une direction dans le circuit, et l'oxygène suivant la direction contraire.

Lorsque, dans les vases de la batterie, on substitua de l'eau distillée à l'eau acidulée, on obtint des effets semblables, mais plus faibles.

Les effets obtenus, bien que nets et décisifs par eux-mêmes, furent ensuite vérifiés par des contre-épreuves, comme en changeant l'ordre des tubes à gaz, etc.; mais ces résultats, qu'il serait inutile de détailler ici, comme les effets électriques de la batterie à gaz chargée d'oxygène et d'hydrogène, ont été souvent confirmés. J'ai déjà établi que, quand on substituait de l'acide carbonique et du nitrogène à l'oxygène et à l'hydrogène, on n'obtenait aucun effet voltaïque; que l'oxygène et le nitrogène ne donnaient rien, tandis que l'hydrogène et le nitrogène produisaient un courant voltaïque que j'attribuai à la combinaison de l'hydrogène avec l'oxygène de l'atmosphère qui se trouvait en dissolution : cette opinion sera confirmée par d'autres expériences.

J'attribuai le courant voltaïque engendré par cette batterie à la synthèse chimique d'un genre égal, mais opposé, qui s'opère dans les différents tubes aux points où le liquide, le gaz et le platine se trouvent en contact, et, en recouvrant le platine d'un dépôt pulvérulent, on eut pour but d'augmenter le nombre de ces points de contact, le liquide étant retenu à la surface du platine par attraction capillaire.

Le point que je regardai alors comme le plus important fut le bel exemple de la corrélation de forces naturelles démontrée par le cinquième effet; car les gaz, en se combinant et formant un liquide, transmettent une force qui est capable de décomposer un liquide semblable et de ramener ses éléments à l'état de gaz, la chaleur, l'action chimique et l'électricité se trouvant ainsi confondues et dans une dépendance mutuelle.

L'appareil qui me servit à faire les expériences que je viens de rappeler était formé de morceaux de tubes qui se trouvaient alors dans mon laboratoire; aussi me fut-il impossible de mesurer avec quelque précision les volumes de gaz absorbés, ou de prouver que la loi de Faraday sur l'électrolyse définie ne souffre aucune exception dans la batterie à gaz. J'ai depuis réussi à construire un appareil qui m'a permis de vérifier cette loi et d'étendre mes recherches sur la nature de l'action voltaïque des gaz. J'ai été d'autant plus porté à multiplier mes expériences sur ce sujet, qu'un électro-chimiste dont je respecte beaucoup les opinions a publié une lettre

sur la batterie à gaz, et qu'il attribue son action à une cause différente de celle que j'ai assignée.

Peu de temps après ma première publication, je reçus une lettre du docteur Schœnbein dont un résumé a été donné dans le *Philosophical Magazine* de mars 1843. Le docteur Schœnbein suppose que, dans la batterie à gaz, l'oxygène ne contribue pas immédiatement à la production du courant, mais que celui-ci est produit par la combinaison de l'hydrogène avec l'eau. J'ai entendu dernièrement d'autres savants soutenir une opinion semblable, mais je n'y adhère pas, et je reste attaché à celle que j'ai d'abord exprimée. Je donnerai plus bas les raisons sur lesquelles se fonde mon opinion.

En décrivant l'appareil dont je me suis servi dans les expériences suivantes, je parlerai de trois formes différentes qu'on donna à la batterie à gaz; c'est avec les deux premières que toutes mes expériences ont été faites : la dernière ne m'a été procurée que lorsque je rédigeais cette Note. Aussi n'ai-je pas encore eu le temps de l'essayer; mais elle me paraît préférable aux autres, bien que, sans aucun doute, on découvrira facilement de meilleures modifications. La *fig.* 1, *Pl. II*, représente une de ces formes; *abcd* est un vase de verre qu'on ferme bien avec un bouchon de bois *ab* : ce couvercle est percé de manière à recevoir les tubes *o* et *h*, qui sont mastiqués avec soin sur lui; ces tubes sont tels, que le volume de *h* est double de celui de *o*. La *fig.* 2 est une section plane de ce couvercle : la pièce *f* peut se détacher à volonté pour introduire un tube à dégager les gaz et charger ainsi l'appareil de gaz; *pr* et *p'r'* sont des lames de platine platinisés; placées dans l'axe des tubes, elles sont soudées à de forts fils de platine qui sont fixés hermétiquement dans les parois des tubes, et se terminent par de petites coupes de cuivre *g*, *g*, qu'on remplit de mercure. Cette batterie se charge en renversant chaque vase, afin de remplir les tubes de liquide; puis on y introduit des gaz au moyen d'une vessie munie d'un tube recourbé. Dans la *fig.* 1, on voit l'appareil chargé de gaz et prêt à fonctionner, et dans la *fig.* 3 est une batterie de 5 couples et prête aussi à marcher.

L'avantage de cet appareil sur celui que je vais décrire consiste dans la facilité avec laquelle les tubes se remplissent de liquide, et en ce qu'on n'est pas obligé de toucher l'électrolyte avec les doigts. D'un autre côté, ses inconvénients sont la difficulté d'examiner les gaz après l'expérience, et l'impossibilité de le faire durant l'expérience sans changer l'électrolyte; car il faut plonger tout l'appareil dans une cuve à eau, et détacher du vase le couvercle avec les tubes qui y sont fixés pendant que le vase et les tubes sont eux-mêmes sous l'eau.

La *fig.* 4 représente la seconde forme donnée à la batterie : *bcde*

est un vase en verre ayant la forme d'un parallélipipède semblable à ceux dont on se sert ordinairement dans les batteries à acide nitrique; les tubes sont fixés dans des pièces de bois *ab*, *ac*, et peuvent se détacher, comme on le voit *fig.* 5. Dans l'espace *aa*, entre les tubes, il y a place pour passer un doigt près de l'orifice de chaque tube et le détacher ainsi de l'appareil. Dans cette figure, la lame de platine est tournée autour du bord du tube, au lieu d'être attachée à un fil fixé dans le verre, et, à la place d'une coupe à mercure, il y a une pince qui sert à établir les communications; mais il est clair que cette dernière disposition peut être remplacée par celle du premier appareil, ou changée *ad libitum*. Dans la pratique, j'ai trouvé cet appareil bien plus commode que le premier, à cause de la facilité avec laquelle on détache chaque tube, soit pour laisser échapper une portion du gaz, si l'on désire faire varier le niveau de l'eau, soit pour examiner ou changer le gaz dans les tubes. D'un autre côté, il y a l'inconvénient d'être obligé de plonger le doigt dans l'électrolyte, ce qui est désagréable et peut même blesser dans quelques cas lorsque le liquide est doué d'un pouvoir chimique assez considérable. Dans la *fig.* 6 se trouve représentée une batterie de 5 couples ainsi construits; elle est chargée avec de l'oxygène et de l'hydrogène, et communique avec un voltamètre, *fig.* 7, dont les tubes sont de même grandeur que ceux de la batterie.

Pour construire la batterie, *fig.* 4 et 6, on employa des tubes autant de la même grandeur qu'on put le faire; la capacité de chacun était, en pouce cube, 1 $\frac{1}{2}$ environ. Dans la batterie, *fig.* 1 et 3, la portion *or* du petit tube contenait 1 $\frac{1}{4}$ pouce cube, et la portion *hs'* du grand tube 2 $\frac{1}{2}$ pouces cubes. Une partie de la batterie dont je me servis avait été construite, d'après mes ordres, pour l'Institution de Londres, et l'autre portion m'avait été prêtée par M. Gassiot. Autrement j'eus été obligé de faire mes expériences sur une plus petite échelle, et d'y consacrer beaucoup plus de temps sans arriver à des résultats aussi satisfaisants.

Ainsi que je l'ai déjà dit, j'eus une troisième batterie construite d'une autre manière et qui me paraît préférable aux deux autres; comme je puis rester quelque temps sans m'en servir, je la décrirai pour l'usage des personnes qui désireraient l'employer. On voit, *fig.* 8, un élément de cette batterie; *aa* est un flacon de Woolf à trois tubulures; la tubulure centrale est fermée par un bouchon de verre *b*; les deux autres sont bien fermées par les tubes *o* et *h*, au moyen de colliers en verre qui leur sont soudés extérieurement; le platine est hermétiquement fixé à la partie supérieure des tubes, de sorte que ceux-ci peuvent se remplir de liquide comme dans l'appareil, *fig.* 1. En plongeant l'appareil dans la cuve à eau, on peut détacher chaque tube avec le gaz qu'il contient et examiner celui-ci séparément; mais son principal

avantage, c'est qu'en graissant un peu le bouchon et les colliers de verre, on peut le fermer complétement, ce qui est important, ainsi qu'on pourra le juger d'après des raisons que nous développerons plus tard. De plus, comme cet appareil est entièrement composé de verre et de platine, on peut employer pour électrolyte des acides concentrés, des liqueurs alcalines ou d'autres solutions corrosives, sans craindre de le détériorer ou d'introduire des matières étrangères.

Dans les expériences que je vais décrire, les résultats ont été généralement établis au moyen de l'action chimique manifestée par l'électrolyse de l'eau ou de l'iodure de potassium. J'avais à ma disposition un galvanomètre astatique très-sensible, mais il recevait l'influence d'actions locales si légères que j'étais obligé, dans chaque cas, de faire une série d'expériences pour dégager l'action de la batterie des courants accidentels; encore les résultats obtenus avec toutes ces précautions étaient-ils moins définis et méritaient-ils moins de confiance que ceux que donnait l'iodure.

Je dois dire aussi que la batterie décrite dans ma première Note ne décomposait l'eau d'une manière notable que lorsqu'elle contenait au moins 36 éléments chargés avec de l'oxygène, de l'hydrogène et de l'acide sulfurique étendu; mais que les nouvelles batteries, chargées avec les mêmes gaz et le même électrolyte, pouvaient décomposer l'eau avec 4 éléments, et l'iodure de potassium avec un seul.

Première expérience. — On chargea 10 éléments jusqu'en un point marqué sur les tubes avec de l'acide sulfurique étendu, de densité 1,2, de l'oxygène et de l'hydrogène; puis on interposa dans le circuit un voltamètre (1), comme dans les *fig.* 6 et 7, et on laissa l'appareil fonctionner pendant trente-six heures. Après ce temps, le voltamètre renfermait 2,1 pouces cubes de gaz mélangés; le liquide s'était élevé, dans chaque tube à hydrogène de la batterie, de 1,5 pouce cube, et dans les tubes à oxygène, de 0,7 pouce cube, ce qui fait en tout 2,2 pouces cubes; ainsi l'absorption de l'hydrogène dans les tubes de la batterie dépassa de 0,1 pouce cube son dégagement dans le voltamètre.

Cette expérience fut répétée plusieurs fois et conduisit aux

(1) Ces expériences furent faites avec la batterie *fig.* 1, bien que pour montrer plus nettement les volumes des gaz on a représenté la seconde forme dans les *fig.* 6 et 7. Les électrodes du voltamètre qui servit alors, consistaient en un fil de platine long de 1 pouce. D'après la nature de la batterie à gaz il est difficile de connaître quelle est la surface active des lames de platine. J'ai trouvé et démontré depuis longtemps que dans les batteries ordinaires, pour les effets quantitatifs, les électrodes devaient être de même grandeur que les lames de la batterie.

mêmes résultats généraux ; on trouvera ces résultats dans la table suivante :

VOLUME d'oxygène absorbé dans les éléments de la batterie, évalué en pouce cube.	VOLUME d'hydrogène absorbé dans les éléments de la batterie, évalué en pouce cube	VOLUME d'oxygène dégagé dans le voltamètre, évalué en pouce cube.	VOLUME d'hydrogène dégagé dans le voltamètre, évalué en pouce cube.	DURÉE de l'expérience.	NOMBRE des éléments de la batterie.
0,7	1,4	0,7	1,4	36 heures.	10 élém.
0,5	1,2	0,5	1,1		
0,6	1,4	0,6	1,3		
0,6	1,3	0,5	1,2		
0,6	1,4	0,6	1,3		

Nous pouvons observer qu'en général, dans ces expériences, l'hydrogène dégagé dans le voltamètre est un peu plus que le double du volume d'oxygène, et qu'il est un peu moindre que le volume de l'hydrogène absorbé dans la batterie. Quant à l'excès d'hydrogène dans le voltamètre, c'est un fait bien connu qu'on observe toujours dans l'électrolyte de l'eau, et que Faraday a attribué à la plus grande solubilité de l'oxygène et à sa tendance à former de l'eau oxygénée ; mais, dans les expériences ci-dessus citées, on a un plus grand excès d'hydrogène absorbé dans les tubes de la batterie. Des expériences préliminaires m'avaient laissé entrevoir ce résultat : dans l'une d'elles, je trouvai que les tubes chargés alternativement d'hydrogène et d'eau produisaient une action voltaïque, ce que j'attribuai à la combinaison de l'hydrogène avec l'oxygène de l'atmosphère dissous par l'eau. Supposons pour un instant cette explication exacte, il y aura dans une batterie à gaz, dès que le circuit sera complété, trois actions voltaïques distinctes : d'abord, l'action principale produite dans les tubes par les gaz réagissant l'un sur l'autre par l'intermédiaire de l'électrolyte, c'est-à-dire, si l'on se reporte à la *fig.* 4, une action où les portions de platine, plongeant dans les gaz pq et $p'q'$, seraient les parties effectives. Secondement, une action entre l'hydrogène en $p'q'$ et l'air en dissolution, dans le voisinage de la partie plongée qr ; celle-ci s'ajouterait au courant général, mais tendrait à diminuer l'hydrogène. Troisièmement, une action locale entre l'hydrogène en $p'q'$ et l'air en dissolution auprès de la partie $q'r'$; elle n'ajouterait rien au courant général, mais elle tendrait aussi à diminuer l'hydrogène. Comme cette dernière action est tout à fait indépendante de l'action générale, on pourrait l'isoler en plaçant simplement un couple chargé de la même manière que la bat-

terie en dehors du circuit, en le disposant comme il est indiqué *fig.* 1; dans un élément ainsi placé, on trouva que l'hydrogène était moins absorbé dans le rapport d'un peu moins que 0,1 pouce cube en vingt-quatre heures.

Plusieurs fois j'observai que le niveau du liquide n'était pas le même dans les différents tubes à hydrogène de la batterie, *fig.* 4; ce fut quelque temps avant que j'en découvris la cause. Sans énumérer les diverses hypothèses que je fis, je ne citerai que celle dont je démontrerai l'exactitude. Comme en employant les deux sortes de batteries, *fig.* 1 et 4, la principale différence consistait en ce que, dans l'une, on était obligé d'introduire le doigt, je pensai que mon aide, qui s'était occupé de diverses manipulations, pouvait, en plaçant les tubes dans les vases, *fig.* 4, introduire avec ses mains, dans l'électrolyte, quelques particules de matière étrangère, particulièrement de métaux, et qu'il en pouvait résulter une action locale. Cette manière de voir se confirma, car je vis souvent un dépôt de cuivre sur les portions de platine immergées dans le liquide, et là où se formait ce dépôt, il y avait en général un excès d'hydrogène absorbé.

Deuxième expérience. — Je chargeai 4 couples avec une solution de sulfate de cuivre, et je l'introduisis dans le circuit fermé; au bout de vingt-quatre heures, le liquide s'était élevé également dans les tubes à oxygène et à hydrogène de 3 des couples; mais dans le tube à hydrogène du quatrième couple, le liquide s'était élevé un peu plus que deux fois autant que dans chacun des autres, et tout le platine dans ce tube, depuis le niveau du liquide jusqu'à la partie inférieure, était couvert de cuivre métallique. Il était évident par là qu'une légère précipitation ayant commencé sur le platine, parce que, dans l'un des couples, la résistance s'était trouvée être moindre que dans les autres, un courant local et particulier s'était établi; l'hydrogène et le cuivre agissant comme circuit voltaïque, du cuivre était régénéré constamment par des désoxydations aux dépens de l'hydrogène. Ce phénomène est tout à fait analogue à celui que l'on observe dans une batterie ordinaire de sulfate de cuivre, lorsqu'une petite quantité de cuivre se dépose sur le zinc, et qu'il s'établit un courant local qui perce le zinc sans contribuer au courant général.

J'ai donné tous ces détails afin d'expliquer différents points de l'action de la batterie qui pourraient paraître des exceptions à la loi de l'électrolyse définie, ou ce que nous appellerons ici l'électrosynthèse. Comme résultat général, l'action équivalente de la batterie est très-remarquable; avec 50 couples en action, il n'y eut qu'une légère différence dans l'élévation du liquide pour tous les couples, et l'augmentation du gaz dans le voltamètre était si visiblement proportionnelle, qu'un observateur étranger à la théorie de la batterie voltaïque aurait dit que les gaz s'échappaient des couples

extérieurs de la batterie par les fils métalliques et se rendaient dans le voltamètre ; et si cette batterie voltaïque eût été la première qui fût inventée, on eût sans doute expliqué ainsi son action.

Dans ma première Note, je disais que l'action voltaïque s'exerçait là où le liquide, le gaz et le platine sont en contact ; et ce fut pour augmenter le nombre des points de contact que j'employai du platine spongieux ou platinisé ; à la vérité, d'après ce que j'ai observé depuis, je doute que j'eusse réussi avec du platine poli. L'action locale rapportée dans la dernière expérience me donna le désir de vérifier si l'action s'exerce surtout là où je l'avais supposée d'abord, ou bien si les gaz ne commençaient pas par être dissous pour être ensuite combinés par la partie immergée du platine ; si, par exemple, les parties actives des lames étaient pq, $p'q'$, *fig.* 4, ou qr, $q'r'$. C'est dans ce but qu'on fit l'expérience suivante :

Troisième expérience. — Je fis construire une batterie de 5 couples où le platine n'atteignait qu'à la moitié de la hauteur des tubes, *fig.* 10 ; elle fut chargée avec de l'oxygène et de l'hydrogène, de manière que le liquide couvrît l'extrémité supérieure des lames de platine. Dans ce cas, il n'y a que les parties plongées du platine qr et $q'r'$, et l'on peut examiner l'action des gaz qui entrent en dissolution et ne subissent aucune action de la part du platine tant qu'ils ne sont pas dissous. Cette batterie, ainsi chargée, produisit des effets très-remarquables ; elle ne décomposait pas l'iodure de potassium, mais elle affectait légèrement un galvanomètre très-sensible ; et dès qu'on ajoutait un peu de gaz, de manière à exposer le platine à l'atmosphère gazeuse, il se développait un courant considérable, et un seul élément décomposait l'iodure.

Si l'on charge de nouveau la batterie, *fig.* 10, de manière que le niveau du liquide soit au-dessous de l'extrémité supérieure du platine et qu'on ferme le circuit, le liquide s'élève dans les tubes jusqu'à ce que, dans ceux à hydrogène, il ait atteint le sommet du platine, et alors il cesse de s'élever. Cette expérience établit bien ce qu'il faut considérer comme la partie active de la batterie, mais elle ne décide pas si la dissolution et l'électrolyse sont simultanées ou successives, car on peut dire que même les parties du platine plongées dans les gaz sont couvertes d'une légère couche de liquide. Je ne saurais exprimer maintenant une opinion bien tranchée sur ce sujet ; je pensai d'abord qu'il y avait, pour ainsi dire, trois sortes de contact, mais je ne pus imaginer une expérience décisive pour établir ce point (1).

---

(1) J'ai quelquefois remarqué que quand on mêlait, sur de l'eau distillée, de l'oxygène et de l'hydrogène dans un tube à gaz de la batterie, l'addition d'une petite quantité d'acide sulfurique faisait disparaître rapidement les gaz.

J'ai cherché ensuite à établir les analogies de cette batterie avec la batterie voltaïque ordinaire, c'est-à-dire à considérer le tube à hydrogène comme analogue à la lame de zinc ou à l'autre métal oxydable à l'anode; je désirais voir jusqu'où cette comparaison peut se soutenir.

Quatrième expérience. — Un seul couple fut chargé d'oxygène et d'hydrogène, et un second fut chargé d'hydrogène seulement dans un tube, l'autre tube ayant été rempli d'acide sulfurique dilué. Lorsque l'hydrogène du second couple fut réuni par un métal avec l'oxygène du premier, et le liquide du second avec l'hydrogène du premier, comme dans la *fig.* 11, des bulles de gaz s'élevèrent du platine; c'était de l'hydrogène, comme je l'avais prévu. Ainsi, quoiqu'il fallut employer 4 couples pour décomposer l'eau en se servant de platine immergé pour électrodes, cependant, le platine dans une atmosphère d'hydrogène étant analogue à un anode oxydable, un seul couple suffisait alors pour décomposer l'eau, absolument comme une batterie ordinaire décomposerait l'eau avec un anode de cuivre.

La batterie à acide nitrique dont j'ai donné une description en 1839 m'ayant appris que les acides très-oxygénés et les peroxydes augmentent beaucoup l'action voltaïque, je résolus d'essayer l'acide nitrique comme électrolyte avec la batterie à gaz, dans le but de poursuivre l'analogie entre les batteries à gaz et les batteries à métaux.

(*La suite au prochain cahier.*)

MÉMOIRE SUR QUELQUES EXPÉRIENCES RELATIVES A L'EMPLOI DE L'ENGRAIS LIQUIDE ET DES SELS AMMONIACAUX, POUR FERTILISER DIVERSES CULTURES; ET SUR LA COMPRESSION DES CHAMPS DE FROMENT ET DES PRÉS AVEC LE ROULEAU DES CHAUSSÉES;

PAR M. SCHATTENMANN.

M. Dumas a bien voulu communiquer à l'Académie, dans sa séance du 14 février 1842, la Lettre que j'ai eu l'honneur de lui écrire au sujet de l'action des sels ammoniacaux sur la végétation. L'accueil favorable qui a été fait à cette communication et l'intérêt qui s'attache aux progrès de l'agriculture, m'ont porté à faire une série d'expériences propres à établir les moyens pratiques de l'emploi des sels ammoniacaux.

En agriculture, les progrès sont ordinairement lents, et, pour

ne pas les compromettre, il importe de procéder avec beaucoup de mesure, et de ne recommander des procédés et des moyens nouveaux que lorsqu'ils ont déjà reçu la sanction de la pratique. J'ai, en conséquence, restreint mes expériences de l'année 1843,

1°. A rechercher quelle doit être la force des dissolutions de sels ammoniacaux;

2°. A trouver la quantité convenable de cette dissolution pour fertiliser diverses cultures. Ces expériences, faites pendant les mois d'avril et de mai 1843, ont produit des résultats assez remarquables, dont la publication pourrait être utile et donner lieu à des applications pratiques.

J'ai préparé des dissolutions :

1°. De sulfate d'ammoniaque;

2°. De chlorhydrate d'ammoniaque;

3°. De phosphate d'ammoniaque, de 1 et de 2 degrés de force, d'après l'aréomètre de Baumé.

Ces dissolutions, versées sur des prés, des champs de froment, d'orge et d'avoine, à raison de 2, 4 et 6 litres par mètre carré, ont produit en quinze jours de temps, et même avant, une végétation d'autant plus active que la dissolution qu'on y avait versée était plus forte en degrés ou en quantité. J'ai cru devoir, après plusieurs essais, m'arrêter à la dissolution de 1 degré de force et à la quantité de 2 litres par mètre carré, comme étant suffisante pour fertiliser les champs et les prés, et pour donner une végétation vigoureuse, d'un vert foncé.

Le sulfate et le phosphate d'ammoniaque ont produit à peu près le même effet; mais l'action du chlorhydrate d'ammoniaque m'a paru être plus forte.

J'ai employé simultanément les eaux d'une fosse d'aisance à 1 degré, saturées par le sulfate de fer ou l'acide sulfurique, et j'en ai obtenu des effets analogues à ceux des dissolutions d'autres sels ammoniacaux.

Les eaux de fosses à fumier, saturées de 1 degré, ont produit peu d'action, et il convient de les employer à 2 degrés de force, parce qu'elles contiennent moins de sels ammoniacaux et des matières en dissolution, qui empêchent de constater exactement par l'aréomètre la quantité de sels qu'elles renferment. J'ai arrosé des choux, des épinards, des salades et d'autres plantes potagères avec des dissolutions de sels ammoniacaux et des eaux de fosses d'aisance de 1 degré, et elles ont parfaitement prospéré, en les y portant lorsque ces plantes étaient en pleine végétation; mais ces plantes nouvellement repiquées, arrosées de la même manière, ont dépéri visiblement. J'en conclus qu'il importe de porter les dissolutions de sels ammoniacaux sur les plantes lorsqu'elles sont en pleine végétation, d'autant plus que l'on s'exposerait à en perdre une grande partie par les pluies et les décompositions qui

pourraient avoir lieu par l'action des terres ou par d'autres causes, si l'on répandait ces lessives pendant la saison morte. D'ailleurs le printemps est une époque très-favorable pour l'emploi de ces engrais liquides, parce que les champs et les prés sont facilement abordables, et que les travaux de la culture sont terminés.

J'ai répété fréquemment l'emploi de dissolutions ammoniacales, même en fortes doses, sur la luzerne et sur le trèfle, sans avoir pu produire le moindre effet appréciable. C'est une exception radicale, mais la seule que j'aie rencontrée dans mes expériences.

L'emploi de dissolutions de sels ammoniacaux sur les prés a donné des produits avantageux. J'ai récolté sur la partie d'une prairie haute et sèche, d'un terrain léger, composé de sable mêlé d'un peu d'argile, arrosé le 12 mai avec 2 litres de sulfate d'ammoniaque, de 1 degré par mètre carré, 89 kilogrammes de foin par are, tandis qu'à côté, l'are n'en a donné que 51 kilogrammes.

Une petite place en gazon de 6 mètres carrés, dans mon jardin, arrosée avec 24 litres d'eau de fosses d'aisance saturée, a donné 6 kilogrammes de foin, soit 100 kilogrammes par are; une place de pareille contenance, qui se trouve à côté, non arrosée, n'en a produit que 2$^{kil.}$,50, soit 41$^{kil.}$,6 par are.

40 ares d'une prairie haute, d'un terrain argileux calcaire, arrosés, le 28 juillet 1843, avec 2 litres par mètre carré d'eau de fosses à fumier, saturée avec l'hydrochlorate de chaux, de 2 degrés de force, ont été récoltés fin août, et ont donné 1810 kilogrammes de regain, c'est-à-dire 45 kilogrammes par are; le même pré, non arrosé, n'a donné que 22 kilogrammes par are.

2 litres d'une dissolution de sels ammoniacaux de 1 degré, ou d'eau de fosses à fumier de 2 degrés, par mètre carré, me paraissent être une dose convenable pour les prés, et j'en ferai l'application en grand en 1844. Je pense qu'il convient de porter cette dissolution sur les prés dès que la végétation devient active, quoique les emplois que j'en ai faits au commencement de mai aient assez bien réussi; mais l'année 1843 a été très-pluvieuse, et il n'y a d'ailleurs aucune raison pour ne pas répandre cet engrais dès que la végétation se développe.

Les sels ammoniacaux paraissent exercer sur le froment une influence plus sensible que sur les herbes, car huit jours après leur emploi, cette plante prend une nuance verte très-foncée, signe certain d'une grande vigueur de végétation. Je dois croire que la dose de 2 litres, de 1 degré par mètre carré, est trop forte, puisqu'elle a provoqué une végétation trop vigoureuse, et qui a produit moins de grains et plus de paille que les parties non arrosées; car il est généralement reconnu qu'un champ trop fumé produit plus de paille et moins de froment qu'un terrain qui l'est dans une proportion convenable.

Mes expériences sur un champ de froment en bon état, dans un

terrain de lias, composé d'argile et de calcaire, ont donné les résultats ci-après indiqués :

1 are arrosé avec 2 litres de chlorhydrate d'ammoniaque de 1 degré par mètre carré, a donné...	$28^{k},1$ de from.,	$79^{k},4$ de paille.	Total.. $107^{k},5$
4 ares arrosés avec 4 et 6 litres d'une dissolution du même sel de 1 degré, et avec 2 et 4 litres de 2 degrés par mètre carré, ont donné, en moyenne, par are....	$21^{k},7$	$78^{k},3$	$90^{k},0$
1 are arrosé avec 2 litres de phosphate d'ammoniaque de 1 degré par mètre carré, a donné...	$27^{k},4$	$77^{k},6$	$105^{k},0$
4 ares arrosés avec 4 et 6 litres de phosphate d'ammoniaque de 1 degré, et 2 et 4 litres de 2 degrés par mètre carré, ont donné, en moyenne, par are....	$24^{k},4$	$83^{k},1$	$107^{k},5$
1 are arrosé avec 2 litres de sulfate d'ammoniaque de 1 degré par mètre carré, a donné.........	$29^{k},0$	$76^{k},0$	$105^{k},0$
4 ares arrosés avec 4 et 6 litres de sulfate d'ammoniaque de 1 degré, et 2 et 4 litres de 2 degrés par mètre carré, ont donné, en moyenne, par are....	$22^{k},3$	$80^{k},2$	$102^{k},5$
1 are non arrosé a donné..	$29^{k},2$	$70^{k},8$	$100^{k},0$

La végétation des parties arrosées avec des lessives trop fortes ou en trop grande quantité était si vigoureuse, que le froment s'est couché avant de pousser des tiges

Ces résultats indiquent que le froment arrosé avec des dissolutions de sels ammoniacaux de 2 degrés ou de 1 degré en quantité trop forte ont fourni le moindre produit en grains et en paille, et que les parties arrosées seulement de 2 litres de 1 degré ont donné une végétation encore trop forte, qui, à la vérité, a produit plus de paille, mais moins de grains que la partie non arrosée du même champ. Il faut naturellement en conclure qu'une moindre dose de sels ammoniacaux eût fourni des produits plus avantageux. Je continuerai mes expériences plus en grand en 1844, et je ne craindrai pas de porter 1 litre de dissolution de sels ammoniacaux de 1 degré sur mes champs de froment, et même 1 $\frac{1}{2}$ litre et jusqu'à 2 litres sur des terrains maigres, surtout dans une année sèche, car les pluies fréquentes de l'année 1843 ont donné une force extraordinaire à la végétation.

La végétation des orges et des avoines, plantés dans un bon terrain que j'ai arrosé avec une dissolution de sels ammoniacaux,

a été si active, que, ne pouvant espérer que ces plantes arrivassent à maturité, j'ai dû les couper vertes; mais l'action des sels ammoniacaux exercée sur elles est certaine.

2 kilogrammes de sulfate et de chlorhydrate d'ammoniaque cristallisés suffisant pour saturer 100 litres d'eau, l'hectolitre de cette dissolution coûterait donc 1f 20 cent. au prix commercial de 60 centimes le kilogramme de ces sels. En employant 2 litres par mètre carré de cette dissolution, il en faudrait 200 hectolitres pour fertiliser 1 hectare de pré, ce qui en porterait la dépense à 240 francs. Elle ne serait que de moitié, soit de 120 francs pour 1 hectare de froment, si, comme cela est probable, 1 litre par mètre carré était suffisant.

Les sels ammoniacaux étant très-solubles, on peut facilement les dissoudre à froid au lieu même de leur emploi, s'il y a de l'eau.

Les urines, les eaux de fosses à fumier et les eaux des usines à gaz pour l'éclairage, en les saturant avec de l'acide sulfurique, ou avec du sulfate de fer, ou avec de l'acide chlorhydrique, fournissent des eaux ammoniacales à très-bon marché, qui pourront être utilisées avec beaucoup d'avantage, et qui se perdent en grande partie aujourd'hui (1).

L'engrais liquide offre l'avantage de pouvoir en régler la force et l'emploi en dose convenable en temps opportun pour fertiliser la culture d'une seule année. On est ainsi maître de le distribuer dans une juste mesure, et l'on ne s'expose pas aux pertes qui résultent de l'emploi de l'engrais pour plusieurs années d'après les pratiques actuelles.

---

(1) En saturant l'ammoniaque des eaux de fosses à fumier ou d'aisance après les avoir laissé fermenter pendant deux mois avec du sulfate de fer ou un acide, il importe que le principe alcalin reste prédominant, afin de ne pas endommager les plantes. Il est facile de constater cette saturation en usant du papier bleu et jaune d'une couleur végétale. Pour reconnaître l'excès du sulfate de fer, il suffit de prendre une goutte de l'eau saturée et d'y porter un peu d'une dissolution faible de prussiate de potasse; cet excès de sulfate de fer se manifeste alors immédiatement en se convertissant en bleu de Prusse.

Un tube d'arrosage de $1^m,66$ de longueur, de $0^m,08$ de diamètre, en tôle de zinc perforé d'ouvertures de $0^m,002$ de diamètre, espacées de $0^m,02$, répand assez également 2 litres par mètre carré, lorsque le tonneau est conduit au pas par un cheval. Lorsqu'on est dans le cas d'employer moins de 2 litres par mètre carré, il convient d'étendre d'eau l'engrais liquide, cette quantité étant nécessaire pour le répandre uniformément.

Lorsque les eaux de fumier ou de fosses d'aisance sont trop épaisses pour passer par le tube d'arrosage, on les filtre par une cuve dans laquelle on met 40 centimètres de paille entre deux faux fonds.

400 kilogrammes de sulfate ou de chlorhydrate d'ammoniaque suffisent pour fumer 1 hectare de prés. Ces sels pourront être transportés dans les lieux les plus éloignés où les fumiers manquent, sans augmenter la dépense d'une manière sensible.

Les engrais augmentant considérablement les récoltes, il est toujours utile d'en acheter lorsqu'on peut se les procurer à un prix inférieur à la valeur des excédants de produits qu'ils procurent. Il y a lieu d'espérer que les sels ammoniacaux pourront, en grande partie, suppléer à l'insuffisance des engrais et accroître les produits de l'agriculture.

J'ai remis à M. Boussingault des échantillons des foins et des froments arrosés avec des dissolutions de sels ammoniacaux, puisqu'il veut bien les soumettre à une analyse. Ce travail sera d'une grande utilité, et jettera de nouvelles lumières sur une matière qui intéresse l'agriculture à un si haut degré.

Compression d'un champ de froment avec le rouleau des chaussées.

Les agronomes admettent généralement qu'un terrain meuble est favorable à la végétation du froment, et ils recommandent même de donner un coup de herse au printemps pour ameublir le terrain, afin de favoriser l'action de l'air et du soleil.

Dans une expérience que j'ai faite, j'ai pris mon point de départ d'un principe tout opposé et qui est fondé sur un fait pratique. On aime à promener les troupeaux de moutons sur le froment levé en octobre et en novembre, afin de tasser la terre. Le passage de ces troupeaux fait disparaître toute trace de végétation; néanmoins les champs de froment ainsi traités sont au printemps les plus beaux et produisent les plus belles récoltes. Il ne faut pas confondre ce passage du troupeau avec le parcage qui engraisse les champs, car le simple passage des moutons n'y dépose qu'une partie insignifiante d'engrais qui, d'ailleurs, ne pourrait agir que sur les places où il tombe, et les champs ainsi foulés présentent une végétation uniforme vigoureuse.

Au mois d'octobre 1842, j'ai fait passer mon rouleau compresseur de 1m,30 de longueur et de 1m,30 de diamètre, du poids de 3 100 kilogrammes, une seule fois, sur un champ de froment de 230 ares. Le froment était levé, et la compression a été uniforme et complète. Dans cette opération, j'ai eu en vue de comprimer le sol, pour empêcher qu'il ne contracte trop d'humidité et qu'il ne s'y arrête même de l'eau, dont la congélation doit nécessairement endommager de jeunes plantes. J'ai de plus pensé que la compression du terrain, laquelle paraît particulièrement favorable au froment, conserverait mieux l'humidité pendant la belle saison, et que les racines, mieux affermies dans le sol, pousseraient des tiges plus vigoureuses. Mes prévisions se sont réalisées

au delà de mon attente : le champ est demeuré uniformément garni, la plante s'est bien développée au printemps, et est restée constamment belle jusqu'à la récolte. Tous les cultivateurs des environs l'ont remarqué et en ont été étonnés.

Les 230 ares de froment comprimés par le rouleau sont un terrain léger, sablonneux, mêlé d'un peu d'argile, peu favorable à la culture du froment, qui aime la terre forte, et avait été planté l'année précédente, en partie en froment, en partie en avoine. J'ai donc agi contre les règles ordinaires de l'assolement, en y semant du froment ; mais j'ai pensé pouvoir compenser ce désavantage en fumant le champ.

J'ai récolté sur ces 230 ares de froment :

7 750 litres de froment, pesant 5632 kilogrammes, et 12 202 kilogrammes de paille : total, 17 834 kilogrammes ; soit par hectare, 3 366 litres de froment, pesant 2 448 kilogrammes et 5 305 kilogrammes de paille : total, 7 753 kilogrammes.

Ce produit est très-satisfaisant pour un terrain léger de médiocre qualité. Par un malentendu, mon champ a été entièrement cylindré, et je n'ai ainsi pas pu constater la différence du produit des parties cylindrées avec celles non cylindrées ; mais à en juger des récoltes de mes voisins, je dois admettre que la compression de mon champ en a augmenté le produit d'un quart.

La compression du terrain a subsisté jusqu'à la récolte, et j'ai été frappé de sa compacité lors du labourage. J'ai remarqué qu'une plante qui vient exclusivement sur les sentiers dont le terrain est foulé se trouvait sur mon champ, tandis que d'autres herbes y étaient peu abondantes, malgré les pluies fréquentes de l'année 1843. J'ai cependant pu l'ameublir facilement et j'y ai planté de la navette et du colza, dont j'ai comprimé quelques parties avec le rouleau compresseur, lors de l'ensemencement. J'ai fait arroser avec des dissolutions de sels ammoniacaux quelques parties de cette plantation, et j'ai fait également cylindrer un champ de froment sur lequel j'ai laissé quelques parties non cylindrées. Je pourrai ainsi rendre compte, l'année prochaine, d'une manière plus positive des effets de la compression des champs ensemencés.

Je me sers avec succès du rouleau des chaussées pour comprimer mes prés au printemps. Un seul passage suffit pour produire un tassement convenable, si utile à la végétation de l'herbe, et pour obtenir une surface plane, facile à faucher ras.

NOTE SUR LE SUCRE,

Par M. SCHUZENBACH.

Le sucre brut, exotique ou indigène, contient une plus grande quantité de sucre cristallisé pur (sucre raffiné royal) qu'on n'en retire par les moyens généralement connus et usités dans les raffineries.

La différence entre la quantité de sucre pur contenu dans le sucre brut et celle qu'on en retire sous la forme de sucre raffiné, dans les usines les mieux conduites, est de 5 à 10 pour 100 et même davantage.

Il en est de même du jus extrait de différentes manières de la betterave ou de la canne.

Il est important de rechercher les causes d'une si forte diminution de la valeur d'un produit précieux, et nous la trouvons dans la transformation d'une forte partie du sucre cristallisable en sucre incristallisable, ou mélasse.

Cette transformation doit être attribuée : 1°. à l'action des cuites trop prolongées et trop souvent réitérées auxquelles on soumet les solutions de sucre mêlées d'une quantité plus ou moins considérable de mucilage, dont la présence pendant la cuite agit comme un principe d'infection sur le sucre cristallisable, par la raison qu'il diminue la mobilité de la solution pendant l'ébullition et qu'il prolonge ainsi le contact de la matière avec les parois chaudes du vase ;

2°. A la lenteur de la marche du travail qui amène et favorise la fermentation partielle des dissolutions de sucre, et par conséquent la transformation d'une partie plus ou moins grande de sucre cristallisable en mélasse ;

3°. A l'emploi superflu de matières azotées, telles que le sang de bœuf, employées sans nécessité comme moyen de clarification et dont la présence agit sur les dissolutions sucrées comme ferment ;

4°. A la perte de matière sucrée qui résulte d'une très-forte quantité d'écumes produite par ces moyens vicieux de clarification : ces écumes sont ordinairement soumises à des lavages réitérés qui sont fort coûteux et n'en restent pas moins imparfaits ;

5°. A l'emploi des formes en terre cuite qui absorbent chaque fois qu'on s'en sert, une certaine quantité de sucre, qui se perd par le lavage à l'eau qu'on est forcé de leur faire subir avant de s'en servir de nouveau ;

6°. Au terrage du sucre comme moyen de blanchiment ; la terre la mieux lavée qu'on emploie à cet effet, contient plus ou moins de matières organiques corrompues ; la solution de sucre qui provient de l'eau abandonnée par la terre et mise en contact

avec le sucre de la surface de la forme, remonte en partie et se mêle à la pâte de terre exposée à l'action de l'air : toutes les circonstances qui favorisent la fermentation et la décomposition d'un liquide sucré s'y trouvent donc réunies et amènent la décomposition complète de toute la partie du sucre cristallisable absorbée par la terre mise comme couvert ; enfin, en enlevant la terre on enlève aussi une légère partie de sucre qui est également perdue ;

7°. A l'abandon forcé d'une partie du sucre cristallisable, amené par l'impossibilité de retirer, par les moyens généralement usités jusqu'ici, les dernières portions du sucre cristallisable mêlé au sucre incristallisable.

En évitant ces causes de perte et de transformation du sucre cristallisé ou cristallisable, on obtient par le travail manufacturier, sous la forme de sucre raffiné de première qualité, dit *sucre royal,* à un demi-centième, ou, au plus, à un centième près, la totalité du sucre cristallisé ou cristallisable, indiqué par l'analyse chimique et contenu dans le sucre brut exotique ou indigène, ou dans le jus extrait de la canne et de la betterave.

A cet effet, on doit : 1°. Ne point soumettre sans nécessité à la cuite, dans le but d'en faire du sucre raffiné, des dissolutions de sucre qui contiendraient encore plus ou moins de mucilage, sans avoir préalablement épuré la matière brute par d'autres moyens.

2°. Faire les cuites des solutions mucilagineuses de sucre de manière à ne pas altérer le sucre cristallisable qu'elles contiennent, c'est-à-dire de manière à conserver au moins 22 ou 24 pour 100 d'eau dans la masse cuite ;

3°. Réduire le plus possible le nombre des cuites absolument nécessaires, par l'emploi de nouveaux moyens d'extraction, sous forme de cristaux, la majeure partie du sucre cristallisable ;

4°. Accélérer autant que possible la séparation du sirop d'avec les cristaux déjà formés, afin de donner moins de prise à la fermentation ;

5°. Éviter l'emploi de toute matière azotée comme moyen de clarification et amener la limpidité parfaite des solutions sucrées par d'autres moyens ;

6°. Substituer des formes de métal aux formes de terre cuite, et le blanchiment par le clairçage au blanchiment par le terrage ;

7°. Réunir au plus haut point possible toutes les circonstances propres à favoriser la formation de cristaux dans des masses déjà appauvries par des cristallisations précédentes et impropres à donner encore des cristaux dans les circonstances ordinaires.

Le nouveau mode de travail, introduit depuis six mois dans quelques fabriques et raffineries de sucre de ce pays, fournit les moyens de se conformer en tout et pour tout aux règles que l'on vient de mentionner.

Pour extraire, sous la forme de sucre royal, la totalité du sucre cristallisable des sucres bruts, on procède comme il suit :

On commence par éliminer la mélasse dont les cristaux du sucre brut sont souillés, ou plutôt avec laquelle est mélangée la matière cristallisée et réduite en poudre.

Les sucres exotiques, tels qu'ils se vendent sur les marchés d'Europe, ne contiennent que très-rarement des cristaux bien conservés; ils sont presque toujours réduits en poudre presque impalpable, soit par le moulinage, soit par le magasinage et le transport. Il faut donc commencer par reformer les cristaux, afin de pouvoir les laver, puisque c'est principalement par le lavage, et non par des recuites, que l'élimination des mélasses doit s'opérer.

On reforme les cristaux en les dissolvant dans une quantité de sirop d'une qualité convenable et qui se trouve toujours en quantité nécessaire dans un travail régulièrement conduit.

Cette dissolution s'opère toujours à une température au-dessous de 80 degrés Réaumur et en remuant continuellement la masse, afin de rendre impossible toute altération de la matière cristallisable par l'action de la chaleur.

La dissolution étant suffisamment opérée, on porte la masse dans un vase de cristallisation.

Ces vases de cristallisation doivent réunir, pour tout ce qui concerne leurs dimensions, etc., toutes les conditions propres à provoquer et à amener une formation régulière des cristaux, afin de favoriser le lavage qui doit suivre immédiatement.

La cristallisation s'étant opérée dans un intervalle plus ou moins court, on porte la masse dans des vases dits caisses d'épuration, qui facilitent à un degré éminent l'égouttage du sirop vert et le passage des sirops dont on se sert pour laver les cristaux.

Les dimensions de ces caisses sont telles qu'elles facilitent singulièrement la manutention et rendent la marche manufacturière. Elles ont plus de longueur et de largeur que de hauteur; le fond est formé d'un treillage particulier qui résiste à la plus forte pression que la couche des cristaux puisse opérer, sans que pour cela les interstices se bouchent (circonstance essentielle, sans laquelle il serait impossible d'en tirer un effet utile).

Les formes ordinaires de la même contenance ont environ une hauteur de 66 à 82 centimètres, tandis que la couche des cristaux dans les caisses n'a que 21 centimètres de hauteur, soit le quart ou le cinquième seulement de la hauteur de la couche des cristaux qui se trouvent dans une forme ordinaire.

Il est donc évident que, comparativement à ce qui s'opère dans les formes, l'égouttage du sirop vert et le passage des claircés données comme couverts, doivent être éminemment facilités et accélérés par une surface filtrante qui est de quarante à cinquante

fois plus grande, tandis que la couche des cristaux à traverser n'a que le quart, ou au plus le cinquième de la hauteur de la couche des cristaux dans les formes ordinaires.

C'est uniquement aux dimensions des caisses d'épuration, aux particularités du treillage et à la formation régulière des cristaux qu'on doit la possibilité d'employer avec succès le clairçage continu, c'est-à-dire l'emploi réitéré des mêmes clairces comme couverts.

Par le clairçage continu on retire à peu près les $\frac{4}{5}$ du sucre cristallisable contenu dans les clairces, tout en opérant le lavage des cristaux, et cela par le seul effet de l'évaporation volontaire de l'eau, facilitée par la forme des caisses qui présentent une grande surface à l'air.

De cette manière, on opère à très-peu de frais le lavage et le blanchiment des cristaux, puisque l'on est dispensé de la presque totalité des cuites de sirops couverts que l'on fait, dans les procédés ordinaires, pour en retirer la matière cristallisable.

C'est uniquement ces circonstances qui permettent de retirer (déduction faite de la clairce employée), dans l'espace de trois jours, sans avoir recours à une cuite et avec des frais de chauffage et de main-d'œuvre qui méritent à peine d'être mentionnés, de 75 à 80 pour 100 de sucre épuré blanc du sucre exotique ou indigène de la qualité dite bonne quatrième, tandis que, par les voies ordinaires, en supportant les frais et la perte de matière occasionnés par une cuite, on n'en retire que 55 ou 60 pour 100, en dix à douze jours par le clairçage, ou en vingt-cinq ou trente jours par le terrage.

Après avoir obtenu en trois jours, comme nous venons de le dire, 75 à 80 pour 100 d'une qualité de sucre que nous avons assimilée pour exemple à la bonne quatrième, l'excédant de 10 à 15 pour 100 de sucre pur qui reste en travail se trouve dans le sirop devenu trop impur pour pouvoir servir à la reformation d'une autre partie de sucre brut. On l'en retire cependant à l'état de sucre pur en se conformant en tout aux règles déjà données, c'est-à-dire en poussant la cuite seulement à un point qui laisse encore subsister 22 à 24 pour 100 d'eau dans la masse cuite; et en faisant cristalliser dans des vases propres à entretenir une température assez élevée, pendant un espace de temps suffisant pour obtenir des cristaux réguliers, grands et durs.

Après la cristallisation suit l'égouttage du sirop vert et le lavage des cristaux au moyen du clairçage continu, comme il a été dit plus haut.

Le sirop vert, qui ne représente plus qu'une eau-mère presque épuisée de matière cristallisable et mêlée de beaucoup de matières étrangères se recuit encore de la même manière, après quoi on l'emplit dans de grandes citernes, où la cristallisation s'opère.

Il est indispensable d'entretenir une température plus ou moins élevée pendant un espace de temps prolongé si l'on veut obtenir encore des cristaux régulièrement formés d'un sirop cuit déjà, presque épuisé par des cristallisations antérieures et mêlé avec une forte proportion de matières mucilagineuses. En effet, il ne renferme plus que la trentième partie environ de la matière cristallisable du sucre brut mis en travail, tandis qu'il en contient encore toutes les impuretés. La nature d'un pareil sirop, trop fortement concentré et soumis à l'influence d'une basse température, ne permet pas aux atomes de sucre cristallisable de s'approcher et de se former en cristaux; ils restent comme perdus dans la masse, qui présente alors l'aspect de la glu, et si plus tard, à la faveur de circonstances favorables, il se forme encore des cristaux, ils restent tellement petits qu'ils sont en réalité insaisissables pour le fabricant. C'est pour cette raison qu'on a recours aux citernes creusées en terre et garanties de l'action de l'air pour faire cristalliser des sirops qui ne donneraient plus rien s'ils étaient emplis dans des formes ou autres petits vases.

Après la cristallisation, on retire la masse des citernes, on l'emplit dans des caisses, on laisse égoutter le sirop vert et on soumet ensuite les cristaux obtenus, au lavage, de la même manière que nous l'avons exposé plus haut.

Les sucres bruts, exotiques ou indigènes, dont les cristaux ont été suffisamment conservés, sont immédiatement soumis à l'épuration par le seul moyen du clairçage continu et sans reformation préalable des cristaux. On n'obtient pas alors de sirops verts par le travail de leur épuration, et les sirops couverts, déjà trop épuisés de matière cristallisable et trop impurs pour pouvoir encore être employés ultérieurement avec utilité au clairçage, se traitent comme le sirop vert des sucres qu'on a soumis à la reformation des cristaux.

On ne soumet au raffinage du sucre proprement dit que du sucre préalablement épuré et dont la qualité est égale aux meilleurs sucres terrés des colonies.

Tout le mucilage contenu primitivement dans le sucre brut étant éliminé, le travail du raffinage proprement dit, c'est-à-dire la formation en pains, tels que le commerce les demande, du sucre déjà mis à l'état de pureté, est extrêmement simple et facile à exécuter avec plein succès.

Voici comment on procède; on dissout le sucre épuré dans de l'eau, à une densité convenable; on chauffe cette solution jusqu'à l'ébullition; on la fait filtrer ensuite sur une haute couche de noir en grains, pour en séparer la poussière suspendue dans le liquide. Le sirop amené à l'état de limpidité parfaite, sans avoir été soumis à ce que l'on est habitué d'appeler clarification, est soumis à la cuite comme à l'ordinaire, ce qu'on peut faire sans danger d'alté-

ration, puisque le liquide ne contient pas de mucilage. La cuite étant terminée, on forme le grain dans le réchauffoir si l'on cuit dans le vide, ou dans le rafraîchissoir si l'on cuit sous pression atmosphérique, et on emplit comme d'ordinaire à la température que l'on juge convenable.

On emplit non dans des formes de terre cuite, mais dans des formes de tôle de fer, revêtues d'un vernis très-uni qui résiste à l'action de la chaleur, et qui ne se détache point de la tôle.

Pour l'égouttage du sirop vert et le décroutage, on traite les pains comme d'ordinaire, mais on couvre, pour opérer le blanchiment parfait, non pas avec de la terre humide, mais avec de la claircе incolore, qui n'est rien autre chose qu'une solution, saturée à froid, de sucre parfaitement pur dans de l'eau pure.

Les préjugés contre l'emploi de la clairce pour blanchir le sucre sont inconcevables; car en couvrant les pains avec de la terre humide, le blanchiment s'opère de même par la clairce qui se forme au moyen de l'eau qui abandonne la terre et se sature de sucre à son passage sur la première couche de sucre qu'elle rencontre. Il y a la seule différence que, dans ce cas, la solution saturée de sucre se fait dans la forme sous des conditions très-nuisibles, et que, dans l'autre cas, on fait la clairce en dehors de la forme sous les meilleures conditions possibles.

La cristallisation, l'égouttage du sirop vert, les clairçages et l'égouttage suffisant des sirops couverts et le plamottage s'opèrent en sept ou huit jours; puis on loche les pains, on coupe les pointes encore humides et on en fait de nouvelles au moyen d'une machine très-simple, on retourne les pains, on les laisse dans cette position pendant vingt-quatre heures, puis on les sèche en trois ou quatre jours dans une étuve au moyen d'un courant d'air très-fort et dont la température ne dépasse jamais 35 degrés Réaumur, température qu'on lui donne seulement pendant les dernières vingt-quatre heures.

Tout le travail du raffinage, à partir du moment où l'on dissout le sucre épuré jusqu'à la mise en papier, se fait et se termine régulièrement dans l'espace de quatorze ou quinze jours.

Le produit unique de ce travail bien dirigé est toujours et invariablement, quant à la blancheur et à la pureté du produit, du sucre raffiné de première qualité, appelé communément *sucre royal*. La formation du grain que le public demande tantôt petit, tantôt grand, dépend de l'adresse de l'ouvrier que l'on emploie à cet effet.

Le sirop vert est employé comme clairce pour épurer le sucre dans les caisses. Il y dépose, comme on a vu, la presque totalité de sa matière cristallisable, et on le remet immédiatement, sous la forme de sucre épuré qu'il a reprise, dans le travail du raffinage.

Voilà la raison pour laquelle on ne produit, en suivant ce mode

de travail, d'autre qualité de sucre raffiné que du sucre royal, tout en évitant la majeure partie des frais ordinaires et tous ceux qu'amène le travail presque interminable des bas produits, en suivant la route usitée jusqu'ici; et on les évite sans les remplacer par d'autres frais.

Le jus de canne ou de betterave, amené par les voies ordinaires à l'état de clairce ou de sirop à cuire, doit être soumis à une cuisson qui laisse encore subsister de 22 à 24 pour 100 d'eau dans la masse, afin d'éviter toute altération par l'action de la chaleur portée à un degré plus élevé.

La masse cuite s'emplit dans des vases de cristallisation de la contenance de 8 à 10 hectolitres au moins.

On suit, pour tout ce qui concerne la granulation et le lavage, la voie indiquée plus haut, lorsqu'on a parlé des sucres bruts dont on doit reformer le grain.

Les sirops verts se traitent comme les sirops à cuire pour obtenir du premier jet.

Les sirops couverts sont employés comme il a été dit plus haut en parlant du travail d'épuration du sucre brut. On poursuit en général, pour l'épuisement des sirops, la marche indiquée à la même occasion.

On obtient le sucre pur de premier jet en quatre jours, à partir du moment où l'on a pressé la canne ou la betterave, le deuxième jet deux jours plus tard, et le huitième ou le neuvième jour, le troisième jet; donc en neuf jours les trois quarts de la totalité du sucre pur contenu et à obtenir du jus de canne ou de betterave.

On a vu plus haut qu'il faut quatorze ou quinze jours pour transformer le sucre pur en pains de sucre royal prêts à entrer dans le commerce.

Les frais d'aucun genre ne se trouvent augmentés par le nouveau mode de travail; ils sont au contraire diminués sous plusieurs rapports.

Le poids du produit reste au moins le même; mais, en place de sucre brut ordinaire, on obtient du sucre raffiné de première qualité.

On obtient par conséquent, au moyen du nouveau mode de travail, avec moins de frais, une plus grande quantité de produits d'une valeur supérieure, qu'en suivant la voie ordinaire et généralement usitée jusqu'aujourd'hui.

SUR L'HYDRURE DE CUIVRE;

PAR M. AD. WURTZ.

On ne connaît qu'un petit nombre de combinaisons de l'hydrogène avec les métaux. Outre les hydrures d'arsenic et l'hydrogène antimonié découvert par Thomson, il n'y a que l'hydrure de potassium de MM. Gay-Lussac et Thenard dont l'existence soit bien constatée; car les hydrures de platine et de bismuth qu'avaient signalés MM. H. Davy et Ruhland, ne sont que des composés problématiques.

En examinant l'action de l'acide hypophosphoreux sur les sels de cuivre, j'ai reconnu, dans certaines circonstances, la formation d'un hydrure de cuivre qui possède tous les caractères d'un composé défini. On peut préparer ce corps de la manière suivante.

On fait dissoudre 1 partie d'hypophosphite de baryte dans l'eau et l'on en précipite complétement la baryte par l'acide sulfurique; on ajoute à la liqueur filtrée 0,8 partie de sulfate de cuivre en solution concentrée. Le mélange est chauffé doucement à une température qui ne doit pas dépasser 70 degrés. La liqueur prend une teinte verte, puis il s'y forme un précipité d'abord jaune, mais qui se fonce de plus en plus, jusqu'à présenter la couleur du kermès; à ce point de l'opération, on remarque souvent un dégagement de petites bulles d'hydrogène; il faut alors refroidir brusquement le ballon. On filtre la liqueur refroidie, et on lave le dépôt dans une atmosphère d'acide carbonique avec de l'eau privée d'air; il ne reste plus qu'à sécher la matière en comprimant le filtre entre des feuilles de papier joseph.

Ajoutons quelques mots sur la théorie de cette opération.

A la première impression de la chaleur, le sulfate cuivrique est ramené par l'acide hypophosphoreux à l'état de sulfate cuivreux, qui reste en dissolution dans la liqueur acide. Cette formation d'un sel cuivreux peut être mise en évidence par l'addition de quelques gouttes d'acide sulfureux qui détermine, au bout de quelques instants, un précipité rouge-brun de sulfite cuivreux. Si l'on continue à chauffer, le sel cuivreux est réduit à son tour, et il se forme de l'hydrure de cuivre qui correspond, dans sa composition, à l'oxyde cuivreux.

Cette réaction n'est jamais bien nette; même en présence d'un excès d'acide hypophosphoreux, il reste toujours de l'oxyde cuivrique en dissolution si l'on opère comme je viens de l'indiquer; mais si les proportions du mélange, la nature du sel de cuivre et les conditions de température viennent à changer, les produits de la réaction sont différents. Je discuterai ces différents cas avec quelques détails dans un prochain Mémoire sur les hypophosphites.

L'hydrure de cuivre est une poudre d'un brun foncé ; à l'état sec, il se décompose déjà, quoique lentement, à 55 degrés. Si on le chauffe en vase ouvert à 60 degrés, cette décomposition est souvent brusque et s'opère, avec une espèce de sifflement, sur toute la masse qui est vivement projetée. A l'état humide, l'hydrure de cuivre est un peu plus stable ; dans le vide, il perd de l'hydrogène.

Si on l'abandonne à l'air, il se convertit peu à peu en une poudre jaune d'hydrate d'oxyde cuivreux ; cette oxydation s'opère plus facilement si l'hydrure est humide. Dans un air parfaitement sec, ce corps noircit du jour au lendemain, probablement parce qu'il se forme un peu d'oxyde cuivrique.

L'hydrure de cuivre sec s'enflamme dans le chlore avec production de vapeurs épaisses qui se condensent en flocons de chlorure cuivrique. On observe également cette incandescence en le projetant dans le brome.

L'acide chlorhydrique exerce sur l'hydrure de cuivre une action très-remarquable ; avec un acide concentré, il se produit même à froid une vive effervescence d'hydrogène, et il se forme du chlorure cuivreux. Si l'on n'a pas employé un trop grand excès d'acide, ce sel cristallisé en partie en petites paillettes qu'on distingue facilement au milieu d'un faible résidu de cuivre. Par l'addition d'un peu d'eau, la liqueur devient laiteuse ; elle présente d'ailleurs tous les caractères des sels cuivreux. D'après cela, il est évident que l'hydrure de cuivre et l'acide chlorhydrique sont l'un et l'autre décomposés. J'ai constaté ce fait par des expériences directes en décomposant l'hydrure de cuivre, d'une part, par la chaleur seule, et de l'autre, par l'acide chlorhydrique ; dans le second cas, j'ai obtenu, pour une quantité égale de matière, sensiblement un volume double de gaz hydrogène. On sait que l'acide chlorhydrique n'attaque le cuivre qu'avec une extrême difficulté, et la présence de l'hydrogène, loin de favoriser la réaction, devrait, d'après les lois de l'affinité, y ajouter un nouvel obstacle. La décomposition de l'hydrure de cuivre par l'acide chlorhydrique paraît donc s'effectuer en vertu d'une action de contact.

Passons à l'analyse de ce corps; je l'ai exécutée en décomposant par la chaleur des quantités indéterminées d'hydrure de cuivre encore humide.

Dans quatre analyses faites sur des échantillons différents, j'ai obtenu les nombres suivants :

	Cuivre.	Hydrogène.					
I.	$0^{gr},574$	$85^{c.c.},5$	Températ.	12°	Pression	$0^{m},742$,	le gaz étant saturé d'humidité.
II.	$0^{gr},6045$	$87^{c.c.},0$	Températ.	11°	Pression	$0^{m},761$	
III.	$0^{gr},390$	$57^{c.c.},0$	Températ.	12°	Pression	$0^{m},756$	"
IV.	$0^{gr},412$	$60^{c.c.},5$	Températ.	8°	Pression	$0^{m},745$	"

ce qui donne, pour la composition de l'hydure de cuivre,

	I.	II.	III.	IV.
Cuivre.....	98,780	98,785	98,779	98,771
Hydrogène .	1,220	1,215	1,221	1,229
	100,000	100,000	100,000	100,000

	Calcul	
	Cu^2H	Cu^8H^3
Cuivre......	98,446	98,830
Hydrogène (*)	1,554	1,170
	100,000	100,000

On le voit, les résultats de l'analyse s'accorderaient le mieux avec la formule C^8H^3; toutefois, la composition de l'hydrure de cuivre me semble devoir s'exprimer par la formule Cu^2H correspondant à Cu^2O. En effet, si l'on adoptait la formule Cu^8H^3, l'analyse aurait donné un excès d'hydrogène; or il est impossible qu'il en soit ainsi, car la réaction qui donne naissance à l'hydrure de cuivre n'étant pas nette, il doit se former simultanément avec l'hydrure un peu de cuivre métallique, et la quantité de métal formé est d'autant plus considérable que l'on augmente la proportion de sulfate de cuivre; mais la présence d'un peu de cuivre métallique dans le produit analysé doit nécessairement diminuer la proportion d'hydrogène. A cette première cause de diminution viennent s'en ajouter d'autres : quelques précautions que l'on prenne dans la préparation de ce corps, il est impossible d'éviter une perte d'hydrogène; d'un autre côté on sait, d'après les expériences de M. Melsens, que le cuivre peut retenir de petites quantités d'hydrogène, même à une température assez élevée. La quantité de gaz recueillie à l'analyse ne saurait donc égaler celle que la théorie indique. La formule Cu^8H^3 doit donc être rejetée, et l'on doit adopter la formule plus simple Cu^2H, qui semble d'ailleurs justifiée par les réactions de l'hydrure de cuivre.

En prenant pour base les analyses précédentes, on trouve que, dans l'hydrure de cuivre, le cuivre est combiné à environ douze cents fois son volume d'hydrogène.

(*) H = 12,5.

SUR LA TRANSFORMATION DE LA FIBRINE EN ACIDE BUTYRIQUE ;

PAR M. AD. WURTZ.

Si l'on abandonne la fibrine à l'air pendant les chaleurs de l'été, elle se liquéfie complétement au bout de huit jours. Le liquide répand une odeur de fromage pourri et se coagule par la chaleur. Cette dernière propriété est due à l'albumine qu'elle contient et qu'on peut isoler facilement en précipitant la liqueur étendue d'eau et filtrée, par le sous-acétate de plomb, lavant le dépôt et le décomposant par un courant d'acide carbonique. On obtient ainsi une dissolution coagulable par la chaleur, qui présente tous les caractères de l'albumine. Les autres produits de cette putréfaction sont l'acide carbonique, l'acide acétique, l'acide butyrique et l'ammoniaque.

Pour isoler l'acide butyrique j'ai étendu le liquide provenant de la putréfaction de la fibrine de deux fois son volume d'eau, j'ai chauffé la liqueur, et j'y ai ajouté de l'acide sulfurique en léger excès. L'albumine précipitée a été séparée par le filtre, et la liqueur claire a été distillée jusqu'à la moitié de son volume. Le produit de la distillation rougissait fortement la teinture de tournesol; je l'ai neutralisé par le carbonate de plomb et j'ai évaporé la solution. A un certain degré de concentration de la liqueur il s'en est séparé du butyrate de plomb sous forme d'une huile épaisse qui s'est prise en une masse molle et résineuse par le refroidissement de la liqueur. Celle-ci a été décantée, évaporée à siccité, puis redissoute dans l'alcool. La solution alcoolique ayant été mélangée avec de l'eau, s'est troublée et a laissé déposer une nouvelle quantité de butyrate de plomb présentant les caractères que je viens d'indiquer. Ce sel a été redissous dans l'alcool faible et décomposé par une quantité suffisante de potasse caustique. Le liquide filtré a été évaporé presqu'à siccité, puis traité par l'acide phosphorique concentré, qui a séparé de la liqueur une couche huileuse qu'on a enlevée pour la soumettre à la distillation. Le point d'ébullition de l'acide s'est élevé rapidement de 130 degrés jusqu'au delà de 160 degrés, et le produit de la distillation, tout à fait incolore, a présenté tous les caractères de l'acide butyrique.

Pour obtenir cet acide dans un état de pureté convenable, il est nécessaire de suivre le procédé un peu compliqué que je viens de décrire. Si l'on se contentait de saturer par le carbonate de baryte la liqueur acide provenant de la distillation de la fibrine putréfiée avec l'acide sulfurique, on n'obtiendrait après l'évapo-

ration qu'une masse incristallisable qui est formée de butyrate et d'acétate de baryte mélangés sans doute à quelque autre matière. En traitant cette masse par un peu d'alcool faible, elle s'y dissout complétement; et par l'addition d'une certaine quantité d'alcool absolu à cette solution, il s'en sépare de l'acétate de baryte sous forme d'une farine de petits cristaux. Le butyrate de baryte qui reste en dissolution dans l'alcool refuse de cristalliser par l'évaporation.

Le sel de baryte obtenu avec l'acide purifié s'est présenté sous la forme de paillettes nacrées, qui constituent, d'après M. Chevreul, une des modifications cristallines du butyrate de baryte. Ces cristaux, projetés sur l'eau, ont présenté le mouvement giratoire caractéristique.

Le sel de chaux a cristallisé plus facilement que le sel de baryte. Après l'avoir desséché à 100 degrés, j'y ai trouvé 26,9 pour 100 de chaux; le calcul en exige 26,5 pour 100.

Les caractères du sel de plomb ont déjà été indiqués, ils se confondent avec ceux qu'ont observés MM. Pelouze et Gélis.

Le sel de cuivre obtenu par double décomposition avec un butyrate soluble et le chlorure de cuivre s'est présenté sous la forme d'un précipité vert-bleuâtre.

Le sel d'argent est un précipité blanc caillebotté soluble dans une grande quantité d'eau, moins soluble dans l'alcool. J'y ai trouvé 54,7 pour 100 d'argent métallique; le calcul en exige 55,4 pour 100. Enfin, l'acide en question s'est éthérifié avec la plus grande facilité; il a suffi d'en mélanger quelques gouttes avec un peu d'alcool et d'acide sulfurique, et de chauffer doucement le mélange pour obtenir par l'addition d'une petite quantité d'eau une couche éthérée d'une odeur d'ananas très-agréable.

A l'ensemble de ces caractères il est impossible de méconnaître l'acide butyrique; cet acide existe incontestablement dans les produits de la putréfaction de la fibrine.

Mais il se présente une objection : l'acide butyrique obtenu ne serait-il pas le résultat de l'oxydation des matières grasses que contient la fibrine? L'expérience a répondu par la négative. Car, d'une part, M. Gay-Lussac a prouvé que la fibrine soumise à une décomposition putride laissait pour résidu une quantité de graisse sensiblement égale à celle que les dissolvants peuvent en extraire à l'état naturel; d'où il suit que cette graisse ne se transforme pas en acide butyrique par la putréfaction. D'un autre côté, j'ai constaté que la fibrine épuisée par l'alcool et par l'éther fournissait encore de l'acide butyrique par la putréfaction. Après le traitement par l'éther, elle se trouve dans un état de dessiccation peu favorable à la décomposition putride. Pour établir celle-ci, j'ai traîté la fibrine purifiée par de l'eau aiguisée d'une très-petite quantité d'acide chlorhydrique, dans laquelle la matière s'est

considérablement gonflée ; l'acide employé a été neutralisé, et la fibrine, convenablement lavée, a été abandonnée à elle-même. La fermentation putride s'y étant déclarée, il a été facile d'y découvrir l'acide butyrique par le procédé déjà décrit.

La putréfaction n'est pas la seule voie par laquelle la fibrine se transforme en un corps gras volatil.

J'ai observé qu'en chauffant au bain d'huile à une température de 160 à 180 degrés, de la fibrine pure avec de la chaux potassée, il se formait une petite quantité d'un acide gras volatil qui reste en combinaison avec la potasse, tandis qu'il se dégage de l'ammoniaque et d'autres produits volatils. Il est facile d'extraire l'acide gras volatil du résidu en dissolvant celui-ci dans l'eau, sursaturant par l'acide phosphorique et soumettant la liqueur à la distillation. Le produit distillé est neutralisé par un alcali, évaporé, et le résidu est traité par l'acide phosphorique sirupeux qui en sépare une couche huileuse facile à reconnaître pour un acide gras volatil. Cet acide présente les propriétés de l'acide butyrique; toutefois, je n'ai pas encore constaté par l'analyse son identité avec ce dernier acide. Il est probable que l'albumine, la caséine, et les matières albuminoïdes en général, subiront, sous l'influence de la putréfaction et par l'action de la potasse, des transformations analogues à celles qu'éprouve la fibrine dans ces circonstances.

Les acides gras volatils étant intimement liés aux corps gras neutres, on conçoit que la fibrine puisse se transformer dans certaines conditions, non plus en acide butyrique, mais en un corps gras neutre, et lors même que l'on ne parviendrait pas à opérer cette transformation artificiellement, on comprend du moins que dans certaines circonstances elle puisse s'effectuer dans l'organisme.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES. — AVRIL 1844.

JOURS.	9 HEURES DU MATIN. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	MIDI. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	3 HEURES DU SOIR. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	9 HEURES DU SOIR. Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	THERMOMÈTR. Maxim.	Minim.	ÉTAT DU CIEL A MIDI.	VENTS à MIDI.
1	762,58	+ 9,4		761,58	+15,1		761,05	+17,4		761,82	+12,2		+18,6	+ 4,1	Beau................	E.
2	761,75	+12,1		760,77	+16,6		759,25	+18,2		757,73	+10,4		+19,8	+ 5,6	Beau................	E.
3	755,66	+14,6		754,63	+19,5		752,58	+20,3		751,35	+13,0		+21,5	+ 5,1	Beau................	S. S. E.
4	749,56	+13,5		749,01	+18,6		748,19	+20,4		749,04	+11,5		+22,0	+ 7.2	Beau................	S. S. E.
5	752,72	+13,3		735.13	+16,4		753,48	+14,8		754,32	+ 8,9		+17,5	+ 7,8	Très-nuageux.........	S.
6	752,76	+ 9,8		752,79	+10,6		752,93	+ 9,3		753,44	+ 8,3		+11,4	+ 6,0	Couvert..............	S.
7	756,86	+ 7,7		757,04	+10,0		757,63	+11.0		761,70	+ 7,0		+12,3	+ 5,5	Beau................	E. N. E.
8	765,94	+10,2		765,90	+14,6		765,68	+15,8		767,36	+ 9,8		+17,0	+ 4,2	Beau................	N. N. E.
9	769,60	+11,3		768,87	+16,5		767,84	+18,1		768,32	+13,0		+18,3	+ 5,6	Beau................	N. N. E.
10	766,79	+12,5		765,32	+17,3		763,36	+19,3		760,90	+13,6		+19,4	+ 4,9	Beau................	E. N. E.
11	757,78	+13,6		756,86	+17,2		755.52	+18,8		755,96	+10.0		+19,1	+ 6,6	Vapeurs..............	O. N. O.
12	757,42	+10,8		757,28	+12,9		757.15	+12,8		755,84	+ 8,6		+13,1	+ 6,8	Couvert..............	O.
13	752,25	+10,8		753,35	+11,6		754,74	+12,1		757,18	+ 9,2		+12,0	+ 6 8	Pluie................	O. N. O.
14	757,59	+11,7		758,70	+12,3		759,01	+14,2		760,87	+11,8		+15,0	+ 8,0	Couvert..............	O.
15	762,42	+11,7		761,84	+15,4		761,12	+16,3		761,65	+11,9		+16.4	+10,0	Nuageux..............	O.
16	762,80	+12,8		762,15	+17,5		761,80	+18,3		762,36	+14,2		+19,7	+ 7,0	Très-nuageux.........	N. N. O.
17	761,50	+15,2		760,50	+18,9		759,53	+20,3		759,31	+15.4		+20,9	+ 8,2	Beau................	N. E.
18	759,42	+17,4		759,18	+19,7		758,46	+19,7		761,43	+12,7		+20,9	+ 9,8	Très-nuageux.........	O. N. O.
19	764,53	+ 9,0		764,16	+11,4		763,24	+13,9		764,79	+10,0		+14,0	+ 7,8	Beau................	N.
20	764,72	+10,4		763,76	+14,2		762,82	+16,0		763,15	+12,2		+16,7	+ 5,5	Beau................	N. N. E.
21	763,28	+14,4		762,68	+16,9		762,58	+18,6		761,77	+11,2		+18.8	+ 7,1	Très-nuageux.........	N. O.
22	761,76	+16,5		761,11	+20,1		760,02	+19,5		761,40	+13,6		+21,0	+11,8	Très-nuageux.........	S. S. E.
23	762,16	+15,0		761.04	+18,6		760,20	+20,2		759,79	+15,0		+20,6	+ 8,5	Beau................	N.
24	760,00	+15,6		759.90	+18,3		759,35	+19,4		760.74	+13,2		+20,0	+ 9.8	Beau................	N. O.
25	761,48	+15,3		760,56	+17,5		759,00	+19,4		758,15	+15,6		+19,6	+ 8,0	Beau................	E. N. E.
26	757,13	+17,3		756,44	+23,2		755,63	+24,1		756,86	+16,8		+25,7	+10,0	Beau................	S.
27	758,71	+16,7		759,17	+17,5		759.00	+18,0		762,12	+11,5		+18.8	+12,0	Nuageux..............	N.
28	764,61	+11,1		764,38	+13,2		763,35	+14,0		762,55	+10,6		+14,8	+ 5,0	Beau................	D. N. E. fort.
29	761,14	+11,7		760,12	+14,8		758,82	+17,3		759,09	+12,0		+17.6	+ 5.0	Beau................	E. N. E. fort.
30	759,62	+14,1		759,48	+18,3		758,73	+19,8		760,61	+13,8		+19.9	+ 6,8	Beau................	E. N. E. (r.-f.
1	759.42	+11,4		758,90	+15,5		758,20	+16,5		758,60	+10,8		+17,8	+ 5,6	... Moy. du 1[er] au 10	Pluie en cent.
2	760,05	+12,4		759,78	+15,1		759.34	+16,2		760,25	+11,6		+16,8	+ 7.7	... Moy. du 11 au 20	Cour. 0,928
3	760,99	+14,8		760,49	+17,8		759,67	+19,0		760,31	+13,3		+19,6	+ 8,4	... Moy. du 21 au 30	Terr. 0.850
	760.15	+12,9		759,72	+16,1		759,07	+17,2		759.72	+11,9		+18,1	+ 7,2	... Moyenne du mois....... + 12,7	

DES LOIS QUI PRÉSIDENT A LA DÉCOMPOSITION ÉLECTRO-CHIMIQUE DES CORPS;

PAR M. EDMOND BECQUEREL.

(Mémoire présenté à l'Académie des Sciences, le 4 mars 1844.)

(Fin.)

CHAPITRE II (1).

§ I. — On a donné, dans le chapitre précédent, les deux lois qui permettent d'expliquer tous les effets de décomposition électro-chimique obtenus avec les composés binaires; il s'agit maintenant de voir si ces lois sont les mêmes pour les combinaisons ternaires, quaternaires, etc., c'est-à-dire pour les sels, et si elles régissent enfin la décomposition chimique de tous les corps, quelle que soit leur constitution.

Commençons par examiner ce qui arrive lorsqu'un sel en général est soumis à l'action d'un courant électrique, et prenons d'abord un sel d'un métal électro-négatif, tel que le nitrate d'argent Az^2O^5, AgO en dissolution dans l'eau.

Supposons que le courant soit seulement suffisant pour déposer de l'argent au pôle négatif; on a de l'acide nitrique au pôle positif et un dégagement d'oxygène qui est équivalent au métal précipité à l'autre pôle; de telle sorte que le résultat final de l'action du courant est

Au pôle négatif.	Au pôle positif.
Ag;	$Az^2O^5 + O$.

Il y a quatre manières de concevoir comment cette décomposition peut s'opérer :

1°. Il peut y avoir décomposition de l'eau seule et réduction de l'oxyde au pôle négatif par l'hydrogène transporté.

(1) *Voyez* le chap. Ier, page 162.

Cet effet n'a pas lieu dans tous les cas, puisqu'on ne pourrait expliquer ainsi le transport de l'acide au pôle positif; mais il se produit quand l'eau est plus décomposable que le sel soumis à l'expérience.

2°. L'eau peut être décomposée en même temps que le sel, et alors on a

Au pôle négatif.	Au pôle positif.
$AgO + H^2$;	$Az^2O^5 + O$,

ou

$Ag + H^2O$.	$Az^2O^5 + O$.

Cela revient à supposer que le sel se décompose en oxyde et acide, et que l'oxyde transporté au pôle négatif est réduit par l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau. Cet état de choses ne saurait exister pour plusieurs motifs; d'abord nous verrons plus loin que certains sels donnent deux fois, trois fois et même plus, de métal au pôle négatif que la quantité qu'il faut pour 1 équivalent; de sorte qu'il faudrait qu'il y eût en même temps 2, 3 équivalents d'eau de décomposée lorsqu'il n'y en aurait qu'un seul dans le voltaïmètre, ce qu'il serait difficile d'admettre. De plus, si la supposition que nous avons faite était vraie, comment expliquerait-on la décomposition des sels anhydres fondus?

3°. Le sel peut être décomposé en oxyde AgO au pôle négatif, et en acide Az^2O^5 au pôle positif; puis, lors de cette décomposition, l'oxyde peut lui-même être décomposé par la force du courant; de telle sorte qu'il en résulte du métal au pôle négatif, et de l'oxygène plus de l'acide au pôle positif.

On expliquerait très-bien, dans cette supposition, comment lorsqu'un courant est très-faible et qu'il a agi sur un sel métallique, au lieu d'avoir du métal au pôle négatif, on a soit du protoxyde, soit du deutoxyde suivant la force du courant; mais aussi si l'on fait attention à la manière dont se ferait cette décomposition lorsqu'on obtient du métal au pôle négatif, on voit qu'il y aurait 2 équivalents de décom-

posés simultanément, le sel décomposé en oxyde et en acide, et l'oxyde en métal et oxygène; tandis que, dans le voltaïmètre, on n'observerait que 1 seul équivalent d'eau de décomposée : la même quantité d'électricité servirait donc à décomposer deux fois plus d'éléments dans le premier cas que dans le second, ce qui ne se concevrait pas bien et serait contraire aux lois des décompositions électro-chimiques binaires.

4°. La quatrième manière de considérer la décomposition du sel AgO, Az^2O^5, est de supposer que ce sel n'est pas formé par la réunion de l'oxyde AgO et de l'acide Az^2O^5, mais par celle du métal Ag avec un composé Az^2O^6 qui se décompose en Az^2O^5 et O lorsqu'il n'est plus en présence du métal.

Du reste, cette manière de considérer la constitution des sels rend facile l'explication de la décomposition électro-chimique, et conduit à la même loi simple et remarquable que j'ai donnée pour les combinaisons binaires.

Alors, d'après cette supposition, on voit comment la même décomposition a lieu avec les sels fondus anhydres et les sels dissous, et que, pour un seul équivalent d'eau de décomposé dans le voltaïmètre, on n'a qu'un seul équivalent $Az^2O^6 + Ag$, c'est-à-dire $Az^2O^5 + O$, Ag de décomposé.

Dans cette hypothèse, le dépôt d'oxyde au pôle négatif lors de l'action des courants peu énergiques serait un effet secondaire provenant de la décomposition de l'eau, à l'aide du métal précipité au pôle négatif. Dans le cas où cela n'aurait pas lieu, on serait conduit à supposer que, suivant l'intensité du courant, les produits provenant de la décomposition du sel seraient Az^2O^5 et AgO pour les courants faibles, et $Az^2O^6 + Ag$ pour les courants énergiques. C'est ce que des expériences directes peuvent seules décider.

Comme, dans tout ce qui va suivre, j'ai fait usage de

courants capables de produire au moins 1 centimètre cube de gaz par minute, je supposerai que les sels composés d'un acide AO et d'une base RO sont formés par la combinaison de AO^2 avec R; de sorte que le courant opère cette décomposition en AO^2, qui est transporté au pôle positif, et R au pôle négatif. Alors, si R est très-oxydable et se trouve en présence de l'eau, il peut en résulter RO et H^2 au pôle négatif; cela a lieu lorsqu'on fait usage des sels des métaux alcalins. On trouve au pôle positif 1 équivalent d'oxygène et 1 équivalent d'acide; puis au pôle négatif 1 équivalent d'hydrogène et 1 équivalent d'oxyde.

§ II. — *De l'eau.* — Dans toutes les expériences dont il a été question jusqu'ici, j'ai pris, pour mesurer la quantité d'électricité qui passe dans un temps donné, la quantité de gaz fournie par la décomposition de l'eau acidulée placée sur la route du courant dans l'appareil appelé voltaïmètre, *fig.* 2; il s'agit de voir si c'est l'eau qui est soumise à l'action directe du courant, et si l'on peut prendre, pour mesure de la quantité d'électricité produite ou pour équivalent d'électricité, la mesure en équivalent des gaz produits, c'est-à-dire de l'eau décomposée.

Lorsque l'eau a été distillée dans un vase d'argent, qu'elle ne contient pas d'air et qu'elle est soumise à l'action du courant, elle n'est pas conductrice de l'électricité, et par conséquent n'est pas décomposée; mais vient-on à mettre dans l'eau une goutte d'un acide ou d'une solution alcaline, elle est décomposée.

Si l'on sépare l'eau acidulée en deux parties par une cloison, comme l'a fait M. Daniell, et qu'on n'emploie qu'un courant faible, on ne voit aucun dégagement de gaz, et on trouve que de l'acide est transporté au pôle positif; ce n'est donc pas l'eau qui est décomposée, mais bien un hydrate. Si l'expérience avait été faite d'une manière exacte, on aurait trouvé probablement 1 atome d'acide transporté pour 1 atome d'eau décomposée.

On parvient à expliquer cet effet à l'aide des différentes hypothèses que j'ai indiquées dans le paragraphe précédent. En admettant la dernière, on voit que, lorsque l'eau acidulée ou alcalisée est décomposée, l'action se porte sur AOH^2O, de manière à donner AO^2 ou $AO + O$ au pôle positif, H^2 au pôle négatif. Le résultat final est le dégagement de gaz correspondant à l'équivalent d'eau de décomposée dans le premier cas. En faisant usage d'un courant faible, les gaz restent en solution dans l'eau. Si l'on prend, pour rendre l'eau conductrice, un sel soluble tel que le sulfate de potasse $SO^3 + KO = SO^4 + K$, on a :

Au pôle négatif.	Au pôle positif.
K ;	$SO^4 = SO^3 + O$.

Or K au pôle positif décompose l'eau et produit de la potasse KO et de l'hydrogène H^2; de telle sorte que l'oxygène et l'acide sulfurique se portent au pôle positif, et l'hydrogène et la potasse au pôle négatif. L'acide sulfurique et la potasse restent en solution et se recombinent, de sorte qu'il n'y a d'apparent que l'hydrogène et l'oxygène dans les proportions voulues pour faire 1 équivalent d'eau. Il est démontré par là que l'on peut très-bien prendre pour liquide, dans le voltaïmètre, de l'eau acidulée, de l'eau alcalisée, ou bien de l'eau contenant un sel soluble à base d'un métal alcalin, pourvu que le courant ait une certaine énergie, et qu'il n'y ait jamais d'apparent que 1 équivalent d'oxygène transporté au pôle positif, et 1 équivalent d'hydrogène au pôle négatif.

Ce que je viens de dire sert à expliquer ce que j'ai observé avec l'eau oxygénée ou bioxyde d'hydrogène HO; c'est-à-dire qu'il se porte deux fois plus d'oxygène au pôle positif que dans le voltaïmètre. En effet, la formule de l'eau oxygénée est HO pour 1 équivalent. Or, si l'on admet que l'eau oxygénée est une combinaison d'oxygène et d'eau, un hydrate enfin, la formule sera $H^2O + O$. Cet

hydrate doit donner, pour sa décomposition, les mêmes résultats que l'hydrate d'acide sulfurique

$$H^2O + SO^4.$$

Or, comme dans cette dernière, on a H^2 au pôle négatif et $SO^3 + O$ au pôle positif, on aurait, dans le premier cas, H^2 au pôle négatif, et $O + O$, ou O^2 au pôle positif.

Du reste, si cela ne se passe pas ainsi, et que ce soit le bioxyde d'hydrogène qui soit immédiatement décomposé, c'est le seul exemple que j'aie trouvé dans lequel il y ait 2 équivalents d'oxygène transportés au pôle positif pour 1 équivalent d'eau décomposée dans le voltaïmètre.

§ III. — *Des sels métalliques.* — En admettant que les sels aient pour composition $AO^2 + R$, lesquels se décomposent en $AO + O$ au pôle positif, et R au pôle négatif, on va voir que les deux lois que j'ai données précédemment pour les combinaisons binaires leur conviennent également ; c'est-à-dire que 1 atome de l'élément électro-négatif se porte au pôle positif, tandis qu'il se rend au pôle négatif une quantité de métal correspondant au sel décomposé.

Considérons, en premier lieu, les nitrates de cuivre, de plomb, d'argent, c'est-à-dire

$$Az^2O^6Pb, \quad Az^2O^6Ag, \quad Az^2O^6Cu,$$

sels qui sont formés par la combinaison de 1 équivalent d'acide et de 1 équivalent d'oxyde ; alors il se porte au pôle positif 1 équivalent de l'élément électro-négatif pour 1 équivalent d'électricité, c'est-à-dire $Az^2O^5 + O$, et au pôle négatif successivement Pb, Ag, Cu.

Or, comme ces sels sont unibasiques, il s'ensuit qu'il y a 1 équivalent de métal au pôle négatif. C'est la loi telle que l'a posée M. Faraday ; mais on voit qu'elle n'est nullement générale, et qu'elle n'est qu'un colloraire de celle que nous avons donnée pour les combinaisons binaires. Du reste, plus loin, j'en donnerai des exemples.

Supposons qu'un même acide puisse former deux sels

avec un même métal, un sel de protoxyde et un sel de peroxyde ; que doit-il arriver? Prenons le cuivre, par exemple : l'hyposulfite de protoxyde de cuivre et un sel quelconque de bioxyde, dont AO est l'acide, les sels seront, dans les deux cas, $AO^2 + Cu$ et $AO^2 + Cu^2$.

Il doit donc se déposer au pôle négatif deux fois autant de cuivre qu'au pôle positif. C'est effectivement ce qui a lieu.

Voici comment on dispose l'expérience : lorsqu'on fait digérer hors du contact de l'air du carbonate de cuivre avec une dissolution d'hyposulfite de soude, on forme, au bout de plusieurs jours, un hyposulfite de protoxyde de cuivre Ayant mis cette solution dans un vase tel que celui de la *fig.* 6, en prenant pour pôle négatif une lame de platine, pour pôle positif une lame de cuivre, après trois heures d'action avec un seul petit couple faiblement chargé, en ayant soin de faire aussi passer le courant dans un appareil semblable contenant du nitrate de bioxyde de cuivre, j'ai obtenu :

Dans la solution du sel de protoxyde, au pôle négatif : 53 milligrammes de cuivre.

Dans la solution du sel de bioxyde, au pôle négatif : 26 milligrammes de cuivre.

On trouve donc deux fois plus de cuivre métallique dans le premier cas que dans le second. C'est aussi ce qu'on avait eu avec le protoxyde et le bioxyde de cuivre dissous dans l'ammoniaque.

La loi de M. Faraday serait donc ici en défaut, tandis que la nôtre rend très-bien compte du phénomène.

Examinons maintenant ce qui a lieu lorsque l'on prend différents sels d'une même série formés par la combinaison d'un acide avec 2, 3 équivalents de base, et réciproquement. On doit trouver avec ces sels des résultats différents pour les quantités de métal déposé aux électrodes. Or, il peut arriver, ou que le sel seul soit décomposé, ou que l'eau le

soit, comme nous allons en donner successivement des exemples.

Nous prendrons d'abord le nitrate de plomb et les sels que l'on forme en le faisant réagir sur le plomb métallique; on sait alors qu'il se produit quatre sels : deux hyponitrites, un nitrite et un sous-nitrate. (Voyez le Mémoire de M. Péligot, *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. II.) Les deux hyponitrites qui contiennent des proportions différentes de base sont solubles dans l'eau chaude, et peuvent servir à montrer l'action décomposante de l'électricité. On peut les préparer suivant l'indication de M. Péligot, ou bien par un procédé électro-chimique, de la manière suivante, comme l'a fait mon père. On prend une éprouvette AB, *fig.* 7, au fond de laquelle on met du massicot *ab* ou du peroxyde de plomb, suivant le produit que l'on veut avoir. On verse dessus une solution de nitrate de plomb dans l'eau, et on plonge une lame de plomb *cd* dans le nitrate et l'oxyde. Au bout d'un certain temps, d'un mois ou deux ou même plus, suivant la quantité de matière employée, en faisant usage de massicot, on voit la lame de plomb recouverte de cristaux jaunes appartenant à l'hyponitrite le moins basique, et si l'on a fait usage de peroxyde, on trouve des cristaux oranges qui sont de l'hyponitrite le plus basique.

Les deux hyponitrites cristallisés ont la composition suivante, d'après M. Péligot :

Hyponitrite jaune cristallisé.	$Az^2O^4, 2PbO, H^2O$;
Hyponitrite rouge..........	$2Az^2O^4, 7PbO, 3H^2O$;

c'est-à-dire que l'un contient 2 équivalents d'oxyde de plomb pour 1 d'acide hyponitrique, et l'autre 7 de base pour 2 d'acide.

On les fait dissoudre dans de l'eau bouillante jusqu'à saturation, et l'on s'arrange pour opérer à une température un peu inférieure à 100 degrés, en maintenant cette tempé-

rature à l'aide d'un bain-marie. Avec une pile à auges de 30 éléments faiblement chargée et l'hyponitrite jaune préparé par la chimie et l'électro-chimie, on a eu :

	GAZ dégagé dans le voltaïmètre.	PLOMB déposé au pôle négatif.	PLOMB par le calcul correspondant à 1 équivalent.
Première expérience.	c.cub. milligr. 6,4 = 3,44	milligr. 82	milligr. 39,6
Seconde expérience..	2,8 = 1,5	35	17,25

On a calculé les nombres de la quatrième colonne de la manière suivante :

112,5 équivalent de l'eau : 1294,5 équivalent du plomb :: 3,4 mligr. quantité d'eau décomposée : x.

Il en a été de même pour le résultat de la deuxième expérience.

On voit que les nombres obtenus par l'expérience sont le double de ceux donnés par le calcul, puisque $\frac{1}{2}$ 82 = 41 milligr., et $\frac{1}{2}$ 35 = $17^{\text{milligr.}},5$; il s'est donc déposé 2 équivalents de plomb au pôle négatif. Or, si l'on se reporte à la composition de cet hyponitrite Az^2O^4, 2PbO, on voit que, d'après la loi que nous avons posée, 1 équivalent du composé pour 1 équivalent d'acide est Az^2O^6, 2Pb; et que si, d'un côté, au pôle positif, il se porte Az^2O^4, O^2, on a, au pôle négatif, 2Pb, ou 2 équivalents de plomb.

D'après cela on peut croire qu'au pôle positif, en se servant d'une lame de plomb comme électrode, on doit avoir une diminution de poids égale à 2Pb, mais il n'en est rien ; il se dissout une quantité de plomb supérieure à Pb, mais moindre que 2Pb, car il ne se forme jamais au pôle positif, ou du moins rarement, le même produit que celui qui est décomposé, lorsque l'oxyde du métal peut se combiner en

plusieurs proportions avec l'acide. C'est ce qui arrive ici : l'oxygène ne se porte pas seulement sur le plomb, mais sur Az^2O^4; il se forme du nitrate de plomb, Az^2O^5, et celui-ci peut, à son tour, dissoudre un peu de plomb, et reformer $Az^2O^4 2PbO$.

Avec l'hyponitrite rouge, préparé des deux manières, on a eu, en le dissolvant dans l'eau à 100 degrés :

	GAZ dégagé dans le voltaïmètre.	PLOMB déposé au pôle négatif.	PLOMB par le calcul correspondant à 1 équivalent.
Première expérience.	c.cub. millig. 5,6 = 3	milligr. 120	milligr. 34,5
Seconde expérience..	2,0 = 1,074	42	12,35

Il s'est donc déposé plus de 3 équivalents de plomb au pôle négatif; or la composition de ce sel est $2Az^2O^4, 7PbO$, ou, pour 1 équivalent d'acide,

$$Az^2O^4, \tfrac{7}{2}PbO = Az^2O^4, \tfrac{7}{2}O + 3,5\,Pb.$$

Si la loi que j'ai posée au commencement de ce Mémoire est vraie pour 1 équivalent d'acide qui se transportera au pôle positif, on aura 3,5 équivalents de plomb au pôle négatif. C'est, en effet, ce qui résulte des expériences; car

$\frac{120}{3.5} = 34$ milligrammes, nombre égal à 34,5 trouvé par le calcul;

et

$\frac{42}{3.5} = 12$, nombre égal à 12,35 trouvé par le calcul.

Si l'on voulait doser l'acide qui se porte au pôle positif par une lame de plomb électrode, on n'y parviendrait pas davantage que précédemment; car $Az^2O^4 + 3\frac{1}{2}O$ donne d'abord $Az^2O^5 + 2\frac{1}{2}O$, et il se forme du nitrate de plomb : tout l'oxygène $2,\frac{1}{2}O$ ne se porte pas sur la lame, mais il oxyde une partie de l'hyponitrite basique qui est soumis

à l'expérience, de sorte que les effets secondaires masquent l'action directe du courant.

On ne peut donc que doser ici l'élément électro-positif. M. Péligot a reconnu que les différents sels dont j'ai parlé étaient solubles sans décomposition dans l'acide acétique étendu ; ces sels, dissous de cette manière, ont éprouvé une altération profonde, car ils ne donnent jamais, par la décomposition électro-chimique, que 1 équivalent de plomb au pôle négatif. Il paraît que, dans ce cas, il se forme de l'acétate de plomb qui est décomposé par le courant. Ce qui tend à le montrer, c'est qu'un électrode de plomb positif éprouve aussi une perte de poids égal à 1 équivalent.

On voit donc que ces hyponitrites, en dissolution dans l'eau, montrent nettement l'action définie de l'électricité mise au jour, d'abord sur les chlorures.

Ces combinaisons sont donc directement décomposées par le courant, et sont plus décomposables que l'eau. Il faut tellement se mettre en garde contre les effets secondaires, que je vais citer une série de composés, les acétates de plomb, qui ne sont pas décomposés directement par le courant, mais bien par suite d'un effet secondaire.

Il existe plusieurs acétates de plomb : l'acétate neutre, l'acétate tribasique, l'acétate sébasique ; et, d'après M. Payen, une combinaison d'acétate tribasique et d'acétate ; puis, d'après M. Liebig, l'acétate sesquibasique, et, peut-être, des acétates plus basiques que celui à 6 atomes de base.

J'ai fait usage de l'acétate neutre, de l'acétate tribasique et de l'acétate sébasique, et j'ai constamment trouvé, en les dissolvant dans l'eau et en faisant agir soit un courant excessivement faible, soit très-énergique, que, pour 1 équivalent d'électricité, il se déposait 1 équivalent de plomb métallique au pôle négatif, et il se dissolvait 1 équivalent de ce même métal au pôle positif. Ces effets montrent que ces sels ne sont pas décomposés directement, puisque les éléments qui

se portent aux deux pôles en se combinant, ne reformeraient pas le sel dissous. Les résultats obtenus s'expliquent sans difficulté en admettant que l'eau soit plus décomposable que ces sels. Au pôle négatif, l'hydrogène réduit l'oxyde de plomb ; et au pôle positif il se forme de l'oxyde de plomb qui se dissout dans l'acétate, vu la grande facilité avec laquelle les acétates dissolvent l'oxyde de plomb pour former des sels plus basiques.

La seule manière de décider cela positivement serait d'agir sur des composés anhydres ; mais outre que ces acétates se décomposent par la chaleur, ils ne sont pas fusibles, du moins à l'exception de l'acétate neutre.

M. Matteucci, dans son Mémoire cité plus haut, a dit qu'en opérant sur de l'acétate tribasique, on n'avait au pôle négatif que les $\frac{2}{3}$ de 1 équivalent de plomb métallique. Mais pour préparer cet acétate, il faisait fondre au feu l'acétate neutre, et s'arrêtait lorsque le sel commençait à se prendre sur les bords du vase. Il n'avait pas là d'acétate tribasique, ou, s'il s'en était formé, il n'y en avait qu'une très-petite quantité. C'est donc sur un mélange de plusieurs acétates que M. Matteucci a opéré. Mais quant au nombre qui représente les $\frac{2}{3}$ de 1 équivalent de plomb au pôle négatif, il est probable qu'une portion du plomb métallique précipité au pôle négatif pendant l'expérience aura été dissoute ; car, en opérant avec soin, j'ai toujours trouvé avec des solutions aqueuses 1 équivalent de métal déposé au pôle négatif.

Il résulte de ce qui précède que, lorsqu'on soumet un sel à l'action du courant électrique, et que ce sel est décomposé, il l'est toujours en proportions définies, de sorte que 1 équivalent d'acide se porte au pôle positif, et la quantité correspondante de base au pôle négatif. Si ce sel est dissous dans l'eau, il peut se présenter trois cas : 1° ou le sel est seul décomposé, et l'on observe la loi précédente ; 2° ou l'eau seule est décomposée, et alors le métal est réduit au pôle négatif par un effet secondaire ; 3° ou l'eau et le sel sont dé-

composés ensemble dans des proportions différentes, et alors les deux lois s'observent à la fois, et les quantités de matière déposée dépendent du rapport des quantités de sel et d'eau décomposés.

Enfin, si le sel soumis à l'expérience est un sel à base d'un métal alcalin, on obtient, au pôle négatif, un dégagement d'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau par suite de l'action du métal sur ce composé.

Résumé.

De tous les faits précédemment rapportés on déduit les conclusions suivantes qui peuvent être ainsi formulées :

« Lorsqu'une combinaison binaire ou ternaire est sou-
» mise à l'action décomposante de l'électricité, et qu'elle
» est décomposée, la décomposition se fait toujours en pro-
» portions définies; de telle sorte que, pour 1 équivalent
» d'électricité employé, 1 équivalent de l'élément électro-
» négatif, ou du moins du composé qui joue le rôle d'acide
» dans la combinaison, se porte au pôle positif, et la quan-
» tité correspondante de l'élément électro-positif, ou qui
» joue le rôle de base, se porte au pôle négatif. »

Ou bien : « 1 équivalent d'une combinaison formée par
» la réunion de 1 équivalent d'acide et d'une quantité cor-
» respondante de base, exige toujours 1 équivalent d'élec-
» tricité pour être décomposée électro-chimiquement. »

Il est bien entendu que l'on ne parle que de l'effet direct du courant, et que l'on doit éliminer tous les effets secondaires, comme je l'ai dit dans le courant du Mémoire.

Cette loi, je l'ai vérifiée sur toutes les combinaisons qui peuvent conduire l'électricité, c'est-à-dire qui peuvent être décomposées, puisque ces deux facultés sont inséparables l'une de l'autre, lorsque, bien entendu, on peut analyser tous les effets produits. Il est probable que si l'on parvient à décomposer des combinaisons qui ne l'ont pas

encore été, on arrivera à la même loi, qui est remarquable par sa simplicité.

Il n'a été question, dans ce Mémoire, que des substances inorganiques, parce que les composés organiques sont, pour la plupart, non conducteurs de l'électricité; et, lorsqu'ils conduisent, les effets secondaires masquent tellement l'effet direct, qu'il est très-difficile de reconnaître l'action définie de l'électricité.

L'action exercée par l'électricité sur les combinaisons est une des preuves les plus fortes que l'on puisse apporter à l'appui de la théorie des antagonistes de Lavoisier; car lorsqu'une combinaison est décomposée électro-chimiquement, elle se partage toujours en deux éléments qui, par leur réunion, reproduisent le composé détruit. On doit donc y avoir égard, lorsqu'on cherche à découvrir la constitution moléculaire des corps.

S'il faut 1 équivalent d'électricité pour décomposer 1 équivalent d'une combinaison quelconque, rapportée à 1 équivalent d'acide, on peut admettre que si les deux éléments électro-positif et électro-négatif, qui forment la combinaison, sont séparés et viennent à se recombiner ensemble, par leur réaction chimique ils dégagent exactement 1 équivalent d'électricité. De là, en se reportant à la loi énoncée plus haut, on déduit les conclusions suivantes, qui sont très-importantes pour la chimie :

« 1°. Lorsque 1 équivalent d'un corps, soit simple, soit » composé, se combine avec 1 ou plusieurs équivalents » d'un autre corps, si le premier joue le rôle d'élément » électro-négatif ou d'acide dans la combinaison, le dégagement d'électricité qui résulte de leur action chimique » est telle, qu'il se produit toujours 1 équivalent d'électricité. »

« 2°. Si 1 équivalent d'un corps tel que l'oxygène s'est » déjà combiné avec un autre qui joue le rôle de base, et » que la combinaison s'unisse de nouveau avec 1 équiva-

» lent du premier corps, c'est-à-dire d'oxygène, pour for-
» mer un deutosel, il se dégage encore, lors de cette
» deuxième réaction, 1 équivalent d'électricité comme pré-
» cédemment. »

Ainsi la quantité d'électricité dégagée ne dépend que du corps qui joue le rôle d'acide dans la combinaison. Tous les résultats que j'ai rapportés et les lois que j'en ai déduites sont indépendants de l'état électrique ou non électrique des atomes.

Dans l'état actuel de la science on ne sait pas à quelle cause est dû le dégagement d'électricité dans les actions chimiques; c'est une des questions les plus délicates et difficiles de la constitution moléculaire. Il est peu probable que les atomes soient électriques par eux-mêmes, comme le supposait Ampère, car on ne pourrait expliquer par là comment une substance peut jouer le rôle d'acide dans une combinaison et le rôle de base dans une autre; mais, quoi qu'il en soit, c'est un fait acquis à la science, et les travaux de mon père ont servi à l'établir: quand deux corps se combinent, ou se désunissent, ils se constituent, au moment de la combinaison ou de la décomposition, dans des états électriques différents; lors de la combinaison, l'élément acide prend l'électricité positive, et lors de la décomposition, c'est le contraire. Les lois que j'ai déduites des décompositions électro-chimiques montrent donc que, dans la combinaison des corps, les quantités d'électricité dégagée sont les mêmes pour des équivalents d'éléments acides égaux.

Je ne peux m'empêcher de rapprocher les résultats obtenus sur le dégagement d'électricité, de ceux auxquels on est parvenu en cherchant les quantités de chaleur dégagée dans les actions chimiques. Les résultats ne sont pas encore assez nombreux pour qu'on puisse en tirer aucune loi générale; mais on reconnaît, comme on le sait, que les quantités de chaleur dégagée dans la combustion de différentes substances, pour une même quantité d'oxygène employée, c'est-

à-dire d'élément acide, donnent des résultats à peu près égaux ou multiples les uns des autres.

Ainsi, par exemple, Lavoisier avait trouvé que $\frac{1}{2}$ kilogramme de charbon, en brûlant, produisait 7234 degrés de chaleur, et $\frac{1}{2}$ kilogramme d'hydrogène, 22139 degrés; mais ces nombres doivent subir une correction; car, pour les calculs, Lavoisier avait admis que la chaleur latente de la glace était 75, tandis que maintenant on doit admettre 79,1; de sorte que les nombres corrigés sont :

Pour le carbone...	7625 degrés.
Pour l'hydrogène..	23335

M. Despretz a trouvé pour les mêmes nombres :

1 gramme de carbone en brûlant dégage...	7914 degrés.
1 gramme d'hydrogène en brûlant dégage.	23640

Et si l'on rapporte tout à la chaleur produite pour 1 litre d'oxygène absorbé, on a

	Lavoisier.	Despretz.	
Le carbone en brûlant dégage..	4095	4232	pour 1 lit. d'oxyg. absorbé.
L'hydrogène en brûlant dégage.	4182	4260	*id.*

c'est-à-dire des nombres à peu près égaux.

De plus, M. Despretz a trouvé, comme M. Dulong, que l'étain et le protoxyde d'étain, en brûlant, dégageaient la même quantité de chaleur pour la même quantité d'oxygène absorbé. M. Dulong est aussi parvenu, à peu près, au même résultat pour le cuivre et le protoxyde de cuivre, c'est-à-dire que, de même qu'il se dégagerait la même quantité d'électricité dans les deux cas, puisqu'on emploie la même quantité d'éléments électro-négatifs, il se dégage la même quantité de chaleur.

Si des recherches ultérieures sur le dégagement de la chaleur dans les actions chimiques confirment le fait dont j'ai fait mention, on aura un rapprochement de plus entre les deux agents, l'électricité et la chaleur, qui manifestent leur présence toutes les fois que l'équilibre moléculaire des corps est troublé.

MÉMOIRE SUR LES FORCES ÉLASTIQUES DE LA VAPEUR D'EAU ;

PAR M. V. REGNAULT.

Le calcul théorique du travail produit par les machines à vapeur exige la connaissance d'un certain nombre de lois et de données physiques qui sont loin d'avoir été établies jusqu'ici d'une manière certaine. Les principales de ces données sont :

1°. Les forces élastiques de la vapeur aqueuse pour les diverses températures ;

2°. Les quantités de chaleur renfermées dans un poids donné de vapeur d'eau à saturation sous les diverses pressions, ou plus exactement les quantités de chaleur qu'abandonne 1 kilogramme de vapeur à *saturation* sous diverses pressions, lorsqu'il est ramené à l'état d'eau liquide à 0 degré ;

3°. La chaleur spécifique de l'eau liquide pour les diverses températures ;

4°. Les densités que la vapeur d'eau à saturation présente sous différentes pressions.

La première de ces lois, celle qui exprime la force élastique de la vapeur aqueuse aux diverses températures, est la seule qui soit établie d'une manière exacte depuis les belles expériences de MM. Dulong et Arago. Les autres peuvent être considérées comme entièrement inconnues ; celles que l'on adopte dans la pratique ont été admises par simple induction, en étendant aux vapeurs des lois reconnues approximativement sur les gaz, ou en modifiant légèrement ces lois, d'après des résultats empiriques déduits d'expériences presque toujours incomplètes et incertaines.

L'utilité incontestable que présente le perfectionnement

de nos connaissances dans la théorie des vapeurs m'a déterminé à aborder la résolution de ces diverses questions, dont les grandes difficultés ne me sont pas inconnues, mais ne me paraissent cependant pas insurmontables. J'aurais été arrêté complétement dans l'exécution de ce projet par les dépenses considérables que devait entraîner l'établissement des appareils, si M. le Ministre des travaux publics, sur la demande de la Commission centrale des machines à vapeur, avec une bienveillance qui sera appréciée par tous les amis des sciences, n'avait mis à ma disposition les fonds nécessaires à l'exécution de ce travail.

Je me propose de publier successivement dans une suite de Mémoires, les résultats auxquels je parviendrai dans ces recherches, sans m'astreindre, toutefois, à un ordre déterminé, me réservant de résumer plus tard tout mon travail, lorsque les recherches seront suffisamment avancées.

Dans ce premier Mémoire, je m'occupe de la force élastique de la vapeur d'eau aux diverses températures.

Les forces élastiques de la vapeur d'eau aux différentes températures ont occupé un si grand nombre de physiciens, que l'on pourrait croire qu'il ne doit rester sur leurs valeurs numériques que de bien faibles incertitudes. Il n'en est cependant pas ainsi, comme il est facile de le reconnaître en comparant les résultats qui ont été publiés par les divers expérimentateurs; on remarque des différences très-grandes, même entre les limites des températures atmosphériques, et il est impossible de décider quels sont ceux de ces nombres qui doivent être préférés. Je ne m'arrêterai pas à retracer l'historique des recherches qui ont été faites sur ce sujet, les plus importantes sont connues de tous les physiciens. Je passerai immédiatement à l'exposé de mes propres expériences.

Pour établir avec quelque précision une donnée physique, il ne suffit pas de la rechercher par une méthode expérimentale unique. Si le résultat que l'on obtient ainsi est en désaccord avec ceux qui existent déjà dans la science, il

sera le plus souvent difficile de décider quel est celui qui doit être préféré; on n'aura, pour se guider dans ce choix, que l'opinion plus ou moins favorable que l'on peut se faire du procédé employé, et la plus ou moins grande confiance qu'inspire l'habileté de l'expérimentateur. Il est nécessaire de faire des expériences par des procédés variés, d'employer même les procédés qui ont été adoptés par les physiciens qui se sont occupés précédemment de la même détermination, à moins que ces procédés ne soient absolument défectueux. Il faut faire voir que tous ces procédés, quand ils sont convenablement exécutés, conduisent au même résultat; ou s'il n'en est pas ainsi, il est nécessaire de démontrer par des expériences directes, les causes d'erreurs des procédés vicieux.

Cette méthode est nécessairement longue et pénible, mais elle seule me paraît propre à introduire dans la physique des données numériques certaines, que des expériences ultérieures ne modifieront plus que d'une manière insignifiante. J'ai cherché à suivre cette méthode dans mes expériences sur la capacité calorifique des corps, et dans celles que j'ai faites sur la dilatation des fluides élastiques; on la retrouvera encore dans les recherches que je publie aujourd'hui sur les forces élastiques des vapeurs.

I. — Presque toutes les expériences ayant pour but de déterminer la force élastique de la vapeur aqueuse aux basses températures, ont été faites au moyen de deux baromètres plongés dans la même cuvette à mercure : dans l'un de ces baromètres on introduit une petite quantité d'eau qui se rend dans le vide barométrique. La différence de hauteur des deux baromètres placés dans des circonstances identiques donne la tension de la vapeur aqueuse pour la température à laquelle ils se trouvent. La plus grande incertitude dans cette manière d'opérer consiste dans la difficulté de déterminer exactement la température à laquelle correspond la tension observée. La plupart des physiciens

qui ont employé cette méthode dans les limites des températures atmosphériques se contentaient de placer auprès des baromètres, à la hauteur de la chambre, un thermomètre à mercure, dont les indications étaient regardées comme donnant la température à laquelle correspond la tension. M. Kæmtz a fait ainsi une longue suite d'observations pendant deux années entières, et il a obtenu de cette manière les forces élastiques de la vapeur aqueuse, depuis — 19 degrés jusqu'à + 26 degrés. (*Météorologie*, tome Ier, page 290.)

Le même procédé a été employé par divers physiciens pour des températures plus élevées que les températures atmosphériques. Dans ce cas, les deux baromètres étaient placés dans un manchon en verre, plein d'eau, dont on élevait successivement la température. M. Dalton plaçait seulement le baromètre humide dans un second tube en verre plus large, fermé à sa base avec un bouchon de liége qui était traversé par le tube du baromètre; il remplissait l'intervalle des deux tubes avec de l'eau portée successivement à diverses températures. Ce procédé est susceptible de peu de précision, car il est impossible de maintenir une colonne liquide d'une certaine hauteur à une température uniforme, sans agiter continuellement le liquide, et l'on n'avait, dans les expériences de M. Dalton, aucun moyen de rendre la température stationnaire pendant un temps suffisamment long pour que la colonne de mercure fût en équilibre de température avec le liquide ambiant.

J'ai fait quelques expériences par cette méthode, pour reconnaître jusqu'à quel point elle pouvait donner des résultats exacts.

Un baromètre sec et un baromètre mouillé plongent dans la même cuvette à mercure, ils sont maintenus tous les deux contre une tige métallique parfaitement verticale et divisée en centimètres. La cuvette à mercure est placée dans une marmite en fonte de 26 centimètres de diamètre, au fond de laquelle on a versé une couche de mercure de

6 à 7 centimètres de haut, qui ne peut pas se mêler avec le mercure de la cuvette des baromètres. Un manchon de verre de 23 centimètres de diamètre et de 1 mètre de hauteur enveloppe les deux baromètres. On remplit ce manchon d'eau, celle-ci déplace le mercure de la marmite, et le force de s'élever dans l'espace annulaire compris entre la paroi extérieure du manchon et la paroi intérieure de la marmite. Un thermomètre à mercure plonge dans l'eau du manchon à la hauteur des chambres barométriques; enfin, un agitateur à marche ascendante, muni de palettes, permet d'agiter l'eau du manchon dans toute la hauteur. La marmite est placée sur un trépied en fer sous lequel on peut disposer un fourneau, de manière à élever lentement la température de l'eau. La tension de la vapeur aqueuse est donnée dans chaque cas, par la différence de hauteur des deux colonnes de mercure, en corrigeant celle du baromètre mouillé de l'influence de la petite couche d'eau qui surmonte le mercure.

L'eau introduite dans le baromètre doit être complétement privée d'air. Pour satisfaire à cette condition, le baromètre ayant été bien bouilli, et étant encore chaud vers l'extrémité effilée ouverte, j'enlevais une petite quantité de mercure, et je remplaçais celle-ci par de l'eau bouillante qui avait été maintenue en ébullition pendant plus d'une demi-heure. On appliquait immédiatement le doigt sur l'ouverture, et l'on retournait le baromètre. Pour s'assurer que l'on avait réellement satisfait à la condition d'introduire de l'eau privée d'air, on laissait le baromètre monté jusqu'au lendemain, on l'inclinait alors rapidement de manière à faire disparaître le vide barométrique : pour peu qu'il restât d'air dans la chambre, on apercevait une petite bulle qui persistait quelque temps, jusqu'à ce que l'eau la redissolvît de nouveau. Ce n'est qu'après plusieurs tentatives infructueuses que je suis parvenu à obtenir des baromètres humides privés d'air.

La différence de hauteur des deux colonnes était mesurée

au moyen d'un cathétomètre; l'emploi de cet instrument pourrait donner lieu à des erreurs considérables, si l'on ne cherchait à corriger les déviations que subissent les rayons de lumière par réfraction, par suite des inégalités du manchon de verre soufflé. C'est afin de reconnaître ces déviations et de les corriger au besoin, que les deux baromètres sont adaptés le long d'une règle métallique verticale divisée en centimètres. On relève avec le cathétomètre les distances de ces divisions, lorsque le manchon ne se trouve pas encore interposé; on fait la même chose lorsque le manchon est placé et rempli d'eau, et l'on s'assure si les traits ont conservé entre eux les mêmes distances. Dans le cas où ces distances ne seraient que peu différentes, il serait facile de tenir compte du déplacement et d'en faire la correction sur les hauteurs observées. Le manchon qui faisait partie de mon appareil a présenté ainsi des irrégularités très-grandes, et je n'ai pas jugé prudent de m'en servir, les corrections qu'il fallait apporter aux hauteurs observées étant souvent considérables, et comportant par cela même une plus grande incertitude.

J'ai remplacé le manchon en verre par un manchon en tôle de même diamètre, cylindrique dans le bas, et terminé en haut par une caisse carrée, dont deux faces opposées étaient formées par des glaces planes, convenablement choisies. Les divisions tracées sur la règle ont alors conservé les mêmes distances apparentes, quand elles étaient observées directement ou à travers l'eau du manchon.

Pour élever la température, on place un fourneau au-dessous de la marmite, et on agite de temps en temps l'eau du manchon; lorsqu'on approche de la température à laquelle on veut observer, on enlève la plus grande partie des charbons, et l'on agite continuellement l'eau du manchon, jusqu'à ce que le thermomètre placé à la hauteur des chambres barométriques cesse de monter; il faut pour cela un temps très-long, on mesure la différence de hauteur des deux colonnes au moment du maximum. Pour faire une

seconde expérience, on remet des charbons allumés dans le fourneau, de manière à déterminer de nouveau la marche ascendante du thermomètre; aussitôt que celle-ci se présente, on retire les charbons et l'on opère comme il a été dit. On obtient ainsi deux déterminations pour des températures très-voisines.

Cette méthode donne des résultats très-exacts pour les températures égales ou peu supérieures à la température ambiante; mais elle cesse d'être rigoureuse pour des températures un peu élevées. L'eau se divise alors si facilement en couches de différentes températures, que l'on ne parvient à rendre sa température uniforme que par une agitation continuelle et rapide; aussitôt que celle-ci cesse, afin de permettre à l'observateur de mesurer la différence de niveau des colonnes mercurielles, la séparation des couches commence immédiatement, et les déterminations deviennent incertaines. J'ai fait, au moyen de cette méthode, un assez grand nombre de déterminations de la force élastique de la vapeur aqueuse, entre + 10 degrés et + 30 degrés; températures qui se trouvaient, dans chaque cas, peu différentes de la température ambiante. Je ne les rapporterai cependant pas ici, elles sont identiques avec celles que je donnerai bientôt, et qui ont été faites avec des appareils que je regarde comme plus convenables.

Une autre série d'expériences a été faite au moyen de l'appareil des deux baromètres, l'un sec et l'autre mouillé, en ne chauffant plus les deux colonnes de mercure dans toute leur hauteur.

Deux baromètres aussi semblables que possible, ayant 14 millimètres de diamètre intérieur, sont disposés l'un à côté de l'autre sur une planche PP′, *Pl. III, fig.* 1. Ces baromètres traversent les deux tubulures *ab* d'une caisse en tôle galvanisée VV′V″, et sont maintenus dans ces tubulures au moyen de caoutchouc. La caisse VV′V″ dont la section horizontale est représentée *fig.* 3, porte sur un de ces côtés une ouverture rectangulaire EFGH, autour de la-

quelle est fixé un cadre en fer. Une glace à faces parallèles s'applique sur ce cadre au moyen d'un second cadre en fer E'F'G'H' semblable au premier, et qui se fixe sur celui-ci au moyen de vis. Une lame de caoutchouc taillée de façon à présenter la forme du contour de ces cadres, est placée entre la glace et le cadre EFGH, et rend la fermeture hermétique. Cette disposition permet d'enlever la glace et de la replacer avec la plus grande facilité. Les deux baromètres plongent dans la même cuvette U. La caisse en tôle a une capacité de 45 litres environ, elle est placée sur un support en fer TT'T''.

Pour reconnaître si l'interposition de la glace et de l'eau qui remplit la caisse produit une déviation des rayons lumineux, capable de rendre fautif le relèvement des niveaux au moyen du cathétomètre, on a tracé préalablement sur le baromètre sec un trait horizontal très-fin, à la hauteur environ à laquelle s'arrête ordinairement le mercure; et sur le baromètre mouillé on a tracé des divisions en centimètres. On relève les distances du point de repère du baromètre à toutes les divisions consécutives du baromètre mouillé, 1° quand la glace ne se trouve pas interposée; 2° quand la glace a été mise en place, et le vase rempli d'eau. On reconnaît ainsi que l'interposition de la glace et de l'eau produit souvent une déviation absolue des rayons de lumière qui s'est élevée quelquefois jusqu'à $\frac{1}{2}$ millimètre; mais les déviations relatives des divisions tracées sur le baromètre mouillé par rapport au point de repère marqué sur le baromètre sec, sont toujours beaucoup plus petites; ces déviations, qui sont les seules qui puissent exercer une influence sur les observations, ne se sont jamais élevées à plus de $0^{mm},10$; presque toujours elles étaient plus faibles et souvent complétement négligeables. On avait d'ailleurs grand soin de placer les baromètres exactement dans la verticale, et parallèlement à la glace.

La caisse VV'V'' est remplie d'eau, qu'un aide agite continuellement; un thermomètre à mercure très-sensible

plonge dans cette eau, on l'observe au moyen d'une petite lunette horizontale L.

L'observateur dirige la lunette du cathétomètre sur le sommet du ménisque de mercure dans le baromètre mouillé; au moment de l'observation, on cesse l'agitation de l'eau, on la recommence immédiatement après le relèvement du premier ménisque. On arrête encore un instant, au moment où l'observateur relève le ménisque du baromètre sec. L'eau est ainsi dans une agitation continuelle, rendue facile par la grande capacité du vase.

Les observations se font avec une grande précision à la température de l'air ambiant, et peuvent être répétées un aussi grand nombre de fois que l'on veut. Pour faire les déterminations de la force élastique de la vapeur à des températures plus élevées, on enlève, au moyen d'un siphon, une partie de l'eau froide, on la remplace par une quantité correspondante d'eau chaude; on dispose ensuite au-dessous du fond du vase en tôle, une lampe à alcool que l'on approche plus ou moins du fond, ou dont on soulève plus ou moins la mèche; de telle sorte que l'eau étant continuellement agitée dans le vase, la température reste parfaitement stationnaire. Cette condition est facile à atteindre par quelques tâtonnements, et lorsque la température de l'eau ne dépasse pas 50 degrés, on parvient à maintenir la température stationnaire aussi longtemps que l'on veut; il est nécessaire seulement que l'agitation de l'eau soit vive et continuelle.

On faisait trois ou quatre observations à une même température rendue stationnaire, en laissant entre deux observations consécutives, un intervalle de temps de huit à dix minutes. Quelquefois on faisait à dessein monter la température du bain de quelques centièmes de degré dans l'intervalle de deux observations, ou on la laissait s'abaisser, puis on rendait de nouveau la température stationnaire en réglant convenablement la lampe. Il était facile de reconnaître ainsi que les mouvements de la colonne mercurielle

suivaient les moindres variations du thermomètre, et l'on trouvait identiquement les mêmes tensions, toutes les fois que le thermomètre indiquait la même température.

Dans cette manière d'opérer, les colonnes de mercure des deux baromètres ne sont pas chauffées dans toute leur hauteur, mais les portions qui sortent du vase sont dans des conditions complétement identiques. La différence de hauteur des deux colonnes est à la température du bain; cette différence, ramenée à zéro, donnera la tension de la vapeur d'eau.

Mais on peut se demander si toute la chambre remplie par la vapeur a bien exactement la température du bain, si la surface du mercure, par exemple, ne présenterait pas une température un peu plus basse, à cause de sa communication avec le mercure inférieur qui est plus froid. Cette dernière circonstance se présenterait certainement, si on laissait le niveau du mercure s'abaisser jusque près du fond du vase; mais dans mes expériences, le niveau restait toujours à plusieurs décimètres au-dessus. Au reste, il m'a paru convenable de m'assurer de cette circonstance par une expérience directe. J'ai fixé dans les deux tubulures de mon vase en tôle, deux tubes de 14 millimètres de diamètre intérieur fermés par le bas; l'extrémité ouverte de ces tubes dépassait le niveau de l'eau dans le vase, et leurs extrémités fermées se trouvaient à la hauteur du niveau du mercure dans la cuvette U. L'un de ces tubes renfermait du mercure qui s'élevait à la même hauteur que le niveau du mercure dans le véritable baromètre dont il occupait la place. Le mercure dans le second tube s'élevait seulement au point le plus bas où il se soit trouvé dans le baromètre mouillé, pendant les expériences sur la force élastique de la vapeur aqueuse. Le vase VV′ ayant été rempli d'eau à la température ambiante, on a pris au bout de quelques heures la différence de niveau au moyen du cathétomètre; puis on a élevé la température successivement jusqu'à 50 degrés, en relevant de temps en temps la différence de niveau des

colonnes, après avoir rendu la température stationnaire, comme dans les expériences véritables sur les tensions de la vapeur.

Les différences de niveau observées dans ces diverses circonstances, ramenées par le calcul à o degré, devaient rester constantes, si les deux colonnes sont également influencées dans les parties correspondantes. C'est, en effet, ce que l'on a reconnu, on n'a jamais obtenu de différence qui dépassât $0^{mm},07$.

L'eau du vase étant à 45 degrés et maintenue à une température stationnaire au moyen de la lampe, on a plongé le réservoir d'un thermomètre très-sensible dans le mercure du tube qui renfermait ce liquide au niveau le plus bas. Au bout de deux à trois minutes, il indiquait une température absolument stationnaire, on l'a alors retiré rapidement du tube, et on l'a plongé dans l'eau du vase ; il a été impossible de constater la moindre élévation de température, bien que le thermomètre employé permît de reconnaître avec certitude des différences de $\frac{1}{10}$ de degré. Un second thermomètre plongé constamment dans l'eau du vase permettait, d'ailleurs, de constater que la température n'avait pas changé dans l'intervalle des deux lectures faites sur le premier thermomètre.

Le niveau du mercure dans le baromètre mouillé se trouve surmonté d'une couche liquide de 3 à 4 millimètres de hauteur ; cette couche, en vertu de son poids, déprime le niveau du mercure, mais, d'un autre côté, elle tend à le soulever, en vertu de l'action capillaire. En mesurant avec le cathétomètre la distance entre le point le plus bas du ménisque concave formé par l'eau et le sommet du ménisque convexe du mercure, divisant cette distance par 13,5, densité du mercure par rapport à l'eau, on a la petite hauteur de mercure équivalant à la colonne d'eau ainsi estimée. L'influence capillaire de l'eau a été déterminée par une expérience directe. On a soudé à l'extrémité supérieure des deux tubes barométriques qui avaient servi

dans les expériences précédentes, des tubes de verre de petit calibre qui ont été mastiqués dans un petit tube en cuivre à trois branches. La troisième branche porte un tube de verre qui communique avec la machine pneumatique. Entre l'un des tubes barométriques et la tubulure en cuivre correspondante, se trouve mastiqué un tube en U rempli de ponce sulfurique. Les deux baromètres plongent dans la même cuvette de mercure. On fait plusieurs fois le vide avec la machine pneumatique, et on laisse rentrer l'air, afin de dessécher les parois du tube qui communique avec la ponce sulfurique; enfin, on fait une dernière fois le vide, et on fond à la lampe le tube qui communique avec la machine pneumatique; on s'assure si les deux colonnes sont de niveau, puis on fait passer dans l'un des tubes une petite couche d'eau égale à peu près à celle que l'on avait dans les expériences sur la vapeur. On a maintenant deux baromètres imparfaits communiquant l'un avec l'autre, se trouvant par conséquent soumis à la même pression intérieure; mais l'un des baromètres est sec; dans l'autre il y a, au contraire, une petite couche d'eau. On attend jusqu'au lendemain pour être sûr que les deux colonnes sont exactement à la même température; on détermine alors la différence de niveau des deux ménisques mercuriels et la hauteur de la colonne d'eau. Cette dernière hauteur, transformée en mercure, représenterait la différence de hauteur observée des deux colonnes de mercure, s'il n'y avait pas eu altération dans l'action capillaire. L'effet dû à cette dernière cause sera donc mesuré par la différence de hauteur des deux ménisques mercuriels, diminuée de la valeur en mercure de la petite colonne d'eau. On a trouvé ainsi que la colonne mouillée, corrigée pour le poids de la petite couche d'eau, se trouve soulevée par l'action capillaire de l'eau de $0^{mm},12$.

Le tableau n° I renferme les résultats obtenus par ce procédé.

Tableau n° I.

TEMPÉRATURES. thermom. n° 7.	TENSIONS de la vapeur observées	TENSIONS de la vapeur calculées.	DIFFÉRENCE	TEMPÉRATURES. thermom. n° 7.	TENSIONS de la vapeur observées	TENSIONS de la vapeur calculées.	DIFFÉRENCE.
	mm	mm	mm		mm	mm	mm
9°73	9,03	9,002	+ 0,03	38°09	49,55	49,543	+ 0,01
9,73	9,05	"	"	40,28	55,73	55,733	0,00
11,64	10,27	"	"	40,28	55,67	"	"
11,62	10,19	10,200	— 0,01	40,25	55,55	"	"
11,62	10,23	"	"	46,20	75,76	"	"
13,56	11,62	11,575	+ 0,05	46,24	75,96	"	"
13,56	11,60	"	"	46,23	75,88	76,04	— 0,16
15,56	13,18	13,16	+ 0,02	51,39	98,29	"	"
15,58	13,16	"	"	51,39	98,23	98,541	— 0,31
17,67	15,07	"	"	58,62	139,05	"	"
17,68	15,13	"	"	58,56	138,81	139,119	— 0,31
17,68	15,05	15,052	0,00	58,49	138,25	"	"
19,36	16,74	16,716	+ 0,02	21,08	18,66	"	"
19,35	16,70	"	"	21,08	18,64	18,585	+ 0,06
21,41	18,94	"	"	21,08	18,62	"	"
21,41	18,96	18,965	0,00	8,79	8,44	"	"
21,41	19,00	"	"	8,79	8,44	8,454	— 0,01
23,66	21,74	21,736	0,00	8,79	8,46	"	"
23,67	21,78	"	"	4,32	6,32	"	"
23,66	21,76	"	"	4,33	6,30	6,239	+ 0,06
26,01	25,05	"	"	4,34	6,28	"	"
26,02	25,07	25,059	+ 0,01	4,94	6,54	"	"
26,02	25,07	"	"	4,97	6,54	"	"
28,80	29,44	29,437	0,00	5,00	6,56	6,534	+ 0,03
28,80	29,46	"	"	6,15	7,06	"	"
31,95	35,27	35,259	+ 0,01	6,17	7,10	7,081	+ 0,02
31,95	35,29	"	"	6,19	7,12	"	"
34,79	41,29	"	"	6,22	7,14	"	"
34,75	41,25	41,252	0,00	7,50	7,73	7,745	— 0,01
34,75	41,23	"	"	7,51	7,69	"	"
38,09	49,51	"	"	7,52	7,71	"	"
38,09	49,59	"	"				

II. — La deuxième série d'expériences a été faite au moyen de l'appareil représenté *fig.* 1, 2, 3. Un ballon A, de la capacité de 500 centimètres cubes environ, renferme une petite ampoule entièrement remplie d'eau récemment bouillie. Le ballon est soudé à un tube recourbé qui est mastiqué dans la pièce en cuivre à trois branches *def*. Dans la tubulure *e* se trouve mastiqué un tube recourbé *egh*, soudé à la partie supérieure d'un tube barométrique *ha* qui passe dans la tubulure *a* du vase en tôle VV'. Dans la seconde tubulure *b* du vase en tôle, passe un véritable baromètre qui plonge dans la même cuvette U. Dans la troisième tubulure *f* de la pièce en cuivre à trois branches *def*, est mastiqué un tube qui communique avec la machine pneumatique, mais on a interposé sur le passage un tube MN rempli de ponce sulfurique, ayant environ 1 mètre de longueur totale.

L'appareil étant ainsi disposé, on fait un grand nombre de fois le vide, et on laisse chaque fois rentrer très-lentement l'air, qui se dessèche en traversant le tube MN. Après avoir fait quarante à cinquante fois le vide, on peut regarder le ballon et le tube barométrique comme complétement secs; on fait alors le vide une dernière fois, en le rendant aussi parfait que possible. La machine pneumatique dont je disposais amenait difficilement le vide au-dessous de 2 millimètres dans mes premières expériences; mais cette machine ayant été nettoyée, le vide a été amené souvent au-dessous de 1 millimètre.

Lorsque le vide est aussi parfait que possible, on ferme à la lampe le tube *fl*. On enveloppe le ballon A de glace fondante, et au bout de quelque temps on prend la différence de hauteur des deux colonnes de mercure avec le cathétomètre; on a ainsi la force élastique à 0 degré de l'air sec resté dans le ballon. On enlève ensuite la glace : on chauffe le ballon avec quelques charbons placés dans une cuiller à manche recourbé, et on détermine la rupture de l'ampoule en dilatant le liquide qui s'y trouve enfermé; on enveloppe

en dilatant le liquide qui s'y trouve enfermé; on enveloppe de nouveau le ballon de glace fondante, et au bout d'un certain temps on prend la différence de hauteur des deux ménisques. Cette différence, diminuée de celle qui existait entre les hauteurs des deux ménisques avant la rupture de l'ampoule, donne la force élastique de la vapeur d'eau à o degré. On avait soin de répéter ces mesures un assez grand nombre de fois, à dix minutes environ d'intervalle, pour s'assurer que les différences de hauteur étaient bien constantes.

Pour obtenir des déterminations aux températures supérieures, on adapte la glace dans son cadre EFGH, on remplit le vase avec une eau bien limpide, et l'on opère absolument de la même manière que dans la première série, page 281. Afin de pouvoir estimer la déviation prismatique des rayons de lumière produite par l'interposition de l'eau et de la glace, on avait eu soin, comme dans les expériences de la première série, page 280, de tracer un trait de repère sur le baromètre *bo*, et des divisions en centimètres sur le tube *ah*. C'est par cette méthode que l'on a obtenu les déterminations qui sont consignées dans le tableau n° II, séries *A*, *B*, *C*.

Dans toutes ces expériences il est important que le baromètre soit parfaitement exact, aussi a-t-on eu soin de disposer l'appareil de telle façon que la comparaison du baromètre *bo* avec un baromètre normal pût se faire facilement à un moment quelconque des expériences. A cet effet, la planche sur laquelle sont fixés les tubes barométriques porte une pièce en métal *r* dans laquelle se meut une vis verticale *v*, terminée à ses deux extrémités par des pointes arrondies. On fait tourner cette vis jusqu'à ce que sa pointe inférieure affleure au niveau du mercure dans la cuvette. La glace ne se trouvant pas interposée dans son cadre, on mesure avec le cathétomètre la distance du niveau du mercure dans le baromètre *ob* à la pointe

supérieure de la vis. Pour avoir la hauteur de la colonne de mercure soulevée, il suffit d'ajouter à cette distance la longueur de la vis entre ses deux pointes, longueur qui se mesure très-exactement avec le même cathétomètre, après avoir fait monter la vis d'une manière convenable.

L'exactitude du baromètre peut encore être vérifiée d'une autre manière, susceptible également d'une grande précision. En versant une plus grande quantité de mercure dans la cuvette U, ou en ôtant une certaine quantité de ce liquide, on peut faire varier entre de grandes limites la capacité de la chambre barométrique; si le baromètre est parfaitement purgé d'air, sa hauteur doit être la même, quelle que soit la capacité de la chambre barométrique; il n'en est plus de même pour peu que le baromètre renferme d'air (1).

Le même appareil convient très-bien pour déterminer les forces élastiques de la vapeur aqueuse dans les basses températures; seulement, dans ce cas, je ne me sers plus du vase en tôle VV'V'', mais d'une cloche en verre de plus petite dimension, qui peut renfermer environ 20 litres de liquide. Les tubes barométriques sont alors simplement attachés sur leur planche, et le ballon A se trouve plus éloigné de ces tubes. Le ballon est d'abord enveloppé de glace fondante pour déterminer la tension de la vapeur à 0 degré, puis on enlève la glace, et on verse dans la cloche une dissolution concentrée de chlorure de calcium dont on abaisse progressivement la température, en y dissolvant de la glace. Cette dissolution doit être continuellement agitée; on parvient assez facilement, non pas à rendre la température absolument stationnaire, mais au moins à ne la faire osciller

(1) Cette dernière méthode de vérification a été indiquée depuis longtemps par M. Arago, qui s'est servi du même principe pour construire des baromètres qu'un voyageur peut remplir sur place sans avoir besoin de faire bouillir le mercure.

que dans des limites très-étroites pendant un temps aussi long que l'on veut, en ajoutant de petites quantités de glace concassée, au moment où la température commence à remonter. Pour obtenir les plus grands froids, on a employé le chlorure de calcium cristallisé, que l'on mélangeait couche par couche avec de la neige. On agitait continuellement ce mélange aussitôt qu'il prenait de la fluidité; la température s'abaissait ainsi successivement jusqu'à ce qu'il ne restât plus que très-peu de glace nageant à la surface du liquide. On faisait l'observation au moment du minimum de température, le liquide étant très-vivement agité; on parvenait, d'ailleurs, à maintenir ce minimum pendant quelque temps, en ajoutant de petites quantités de neige.

Pour élever la température du bain, on versait dans la cloche de petites quantités d'une dissolution concentrée de chlorure de calcium chauffée, on produisait l'élévation de température que l'on jugeait convenable. On employait une dissolution de chlorure de calcium chauffée, et non de l'eau pure; afin de ne pas diminuer le pouvoir frigorifique de la liqueur qui composait le bain, on restait ainsi maître de déterminer un nouvel abaissement de température en ajoutant de la glace pilée.

Il est évident que la température est d'autant plus facile à maintenir stationnaire, qu'elle s'approche davantage de celle de l'air ambiant; c'est aussi dans ce cas que la variation de la force élastique de la vapeur aqueuse avec la température est la plus sensible. Au-dessous de — 20 degrés, un changement de quelques dixièmes de degré dans la température ne produit que des variations insensibles dans la force élastique de la vapeur d'eau.

Les expériences faites de cette manière sont consignées dans le tableau n° III, séries *F*, *G*, *H*.

Le procédé, modifié comme je viens de le décrire, peut servir pour les températures inférieures à celles de l'air ambiant; mais je me suis assuré par des expériences di-

rectes, qu'il donne encore des résultats exacts pour des températures supérieures à celles de l'air de plusieurs degrés. A cet effet, on replaçait le ballon dans la caisse en tôle VV'V'', ce qui se faisait facilement sans qu'il y eût rien à démonter; les tubes barométriques restaient en dehors de la caisse, et les tubulures *a* et *b* du vase en tôle étaient fermées par des bouchons. Les observations sont assez précises tant que l'on n'élève pas l'eau à plus de 10 à 15 degrés au-dessus de la température de l'air ambiant, mais passé cette limite, l'eau du ballon commence à distiller et à se condenser dans les tubes, les observations deviennent alors incertaines. Les séries *D*, *E*, ont été obtenues de cette manière.

Les méthodes que je viens de décrire sont susceptibles d'une grande précision, les appareils sont faciles à disposer et conviennent également bien à la détermination des forces élastiques des vapeurs qui se développent dans un air plus ou moins raréfié. Il suffit, dans ce dernier cas, de remplacer l'appareil des deux baromètres par un système de deux tubes communiquants, disposés comme dans la *fig.* 8. J'ai fait de cette manière des déterminations de la force élastique de la vapeur d'eau dans l'air, sous la pression ordinaire, afin de reconnaître si cette force élastique est bien réellement la même que dans le vide; mais je les réserve pour une prochaine publication.

Il est essentiel, pour l'exactitude des expériences, que le ballon soit desséché d'une manière complète avant la rupture de l'ampoule; on parvenait à ce résultat en faisant un grand nombre de fois le vide avec une bonne machine pneumatique, et laissant rentrer de l'air sec. J'ai voulu m'assurer si on ne parviendrait pas à une dessiccation plus parfaite de l'appareil, et par suite si on n'obtiendrait pas de valeurs plus grandes pour les tensions de la vapeur à zéro, en chauffant le ballon à une haute température pendant qu'on faisait le vide.

L'appareil a été modifié de la manière suivante : l'ampoule renfermant l'eau n'est plus placée dans le ballon,

mais dans un petit tube latéral *mn*, *fig.* 4, qui est mastiqué, d'un côté, dans la tubulure en cuivre *f*, et communique, de l'autre, avec le tube à ponce sulfurique. On dessèche l'appareil comme à l'ordinaire avec la pompe pneumatique; mais pour rendre cette dessiccation plus efficace, on entoure le ballon de charbons, et on le chauffe jusqu'à 300 ou 400 degrés; on chauffe également un peu le tube barométrique. La machine pneumatique enlève à la fin l'air d'une manière plus complète que dans les expériences où on ne chauffait pas le ballon. On ferme à la lampe le tube en *l*. On attend jusqu'au lendemain pour laisser les tubes à mercure se mettre en équilibre de température, on enveloppe le ballon de glace, et l'on prend la force élastique à 0 degré de l'air resté dans l'appareil. Sans retirer la glace qui enveloppe le ballon, on fait casser par dilatation l'ampoule renfermée dans le tube *mn*, et l'eau distille dans le ballon; on détache le tube *mn*, en fondant à la lampe la partie capillaire en *k*. L'appareil est maintenant disposé, les expériences se font comme il a été dit plus haut; c'est de cette manière qu'ont été obtenues les séries *I*, *J*, *K*, du tableau n° III, qui donnent pour la force élastique de la vapeur d'eau à 0 degré une valeur un peu plus faible que celle qui a été obtenue par la première manière d'opérer.

Enfin, il est facile d'employer l'appareil des *fig.* 1, 2, pour déterminer la tension de la vapeur aqueuse dans le vide absolu. A cet effet, on ne renferme plus l'eau dans une ampoule, mais on en met immédiatement une certaine quantité dans le ballon. Lorsque l'appareil est monté comme à l'ordinaire, on fait le vide avec la machine pneumatique, on chauffe le ballon A avec quelques charbons, de manière à faire distiller une petite quantité d'eau qui vient se condenser dans le tube barométrique *ah*. En continuant à faire jouer la machine pneumatique, on produit une distillation continuelle de l'eau du ballon et de celle

qui se trouve dans le tube barométrique : cette eau vient se condenser dans le tube à ponce sulfurique MN. On distille de cette manière plusieurs grammes d'eau sous une très-faible pression, on peut admettre alors que l'air a été complétement expulsé de l'appareil, on ferme à la lampe le tube en *l*. On procède à la détermination de la force élastique de la vapeur par la méthode ordinaire.

Les séries *L*, *M* du tableau n° III ont été obtenues de cette manière.

III. — Les procédés que je viens de décrire s'appliquent également très-bien à la détermination des tensions des vapeurs produites par les liquides autres que l'eau, et n'exigent l'emploi que d'une très-petite quantité de matière. Lorsque ces liquides sont de nature à attaquer les mastics, il ne faut mastiquer les tubes qu'à l'extérieur de la tubulure *edf*, il est convenable aussi d'user les tubes à l'émeri fin dans leurs tubulures en cuivre, afin qu'ils remplissent celles-ci à peu près exactement. L'appareil tel qu'il est représenté *fig.* 1 et 2, ne peut cependant convenir que pour déterminer des forces élastiques plus faibles que 200 millimètres. Lorsqu'il s'agit de déterminer des tensions plus considérables, j'emploie l'appareil représenté *fig.* 5. Cet appareil ne m'a pas servi pour la vapeur d'eau, mais je l'ai fréquemment appliqué à la détermination des forces élastiques des liquides très-volatils, comme l'éther, le sulfure de carbone, etc., qui seront publiées dans un prochain Mémoire.

Il se compose d'un tube recourbé *abc* de 15 millimètres de diamètre intérieur, terminé par un tube plus fin recourbé *ce*. On remplit la branche fermée *ab* de mercure que l'on fait bouillir avec soin, afin de la purger complétement d'air et d'humidité. Lorsque le mercure est refroidi, on introduit dans la branche *bc* une petite quantité du liquide volatil, on le fait bouillir pendant quelques instants afin de le priver entièrement de l'air qu'il peut renfermer en

dissolution ; puis en inclinant convenablement le tube, on fait passer une petite portion de ce liquide encore chaud dans la branche fermée *ab*. On chasse le liquide resté dans la branche *bc* par l'ébullition, que l'on facilite, s'il y a lieu, par un vide incomplet que l'on produit avec une petite pompe. La branche *bc* reste ainsi remplie d'air sec.

Le tube *abc* est ensuite fixé dans le vase en tôle VV′, dans une position parfaitement verticale en face de la glace. On mastique le tube *ce* dans une pièce en cuivre à trois tubulures *edf*, dont la tubulure *d* communique avec l'appareil manométrique *hilk* muni d'un robinet *r*. Dans la tubulure *f* se trouve mastiqué un tube fin *fg*, que l'on peut au besoin faire communiquer avec une petite pompe pneumatique.

On remplit complétement de mercure les deux tubes communiquants *ih*, *kl*; l'air renfermé dans l'appareil s'échappe par le tube ouvert *fg*, on ferme ce tube à la lampe. Pour diminuer la pression, on fait écouler le mercure du manomètre en ouvrant le robinet *r*; l'air renfermé dans la branche *bc* se répand dans un espace plus grand, et sa force élastique diminue. On fait couler du mercure jusqu'à ce que le niveau dans la branche fermée *ab* descende en *m*. La tension de la vapeur se trouve mesurée par la pression de l'atmosphère, diminuée de la colonne de mercure $\alpha\beta$ dans le manomètre, et de la colonne *mn* dans le tube recourbé *abc*. L'influence capillaire de la petite couche liquide qui se trouve au-dessus du ménisque dans le tube *ab* est déterminée, après les expériences, par des mesures directes, en établissant l'égalité de pression dans les branches *ab* et *bc*, après avoir ouvert le tube en *a*.

Le vase VV′ est rempli d'eau, que l'on maintient à une température constante, comme il a été dit page 281.

On s'assure facilement, par le procédé suivant, que l'appareil est convenablement disposé, et qu'il ne reste pas d'air dans la branche *ab*. On fait une première série de déterminations, le niveau du mercure s'arrêtant en *m*; puis

on fait descendre ce niveau jusqu'en m' en faisant couler du mercure; l'espace occupé par la vapeur se trouve, dans ce cas, double de celui qu'il occupait dans la première expérience; s'il existait la moindre quantité d'air dans la branche *ab*, on ne trouverait pas la même tension de vapeur dans la seconde expérience que dans la première.

Si l'on voulait déterminer par le même procédé les tensions d'un liquide peu volatil à de basses températures, on mettrait le tube *fg* en communication avec une petite pompe pneumatique, au moyen de laquelle on raréfierait préalablement l'air renfermé dans la branche *bc*, et l'on scellerait ensuite le tube *fg* à la lampe. La disposition de la clef du robinet *r* percé de trois trous, *fig.* 5 *bis*, rend ces diverses manipulations très-faciles.

Quand on veut faire des expériences sous des pressions plus fortes que celles de l'atmosphère, on scelle le tube *fg* à un moment où le manomètre ne renferme pas de mercure. On verse ensuite du mercure dans le tube *kl*, l'air renfermé dans le tube *hi* se trouve ainsi refoulé dans un espace de plus en plus petit, et augmente de force élastique.

Le procédé que je viens de décrire est très-commode pour les liquides très-volatils, parce qu'il permet de déterminer leurs forces élastiques entre des limites très-étendues. Je ne l'ai pas employé pour l'eau, parce que je le regarde, à cause du grand nombre de mesures qu'il exige, comme beaucoup moins précis pour les faibles tensions que les méthodes qui ont été décrites précédemment, et dans lesquelles je me suis attaché à diminuer le nombre des mesures autant que possible (1).

(1) Ce procédé est semblable à celui qui a été employé récemment par M. Magnus pour déterminer la force élastique de la vapeur aqueuse entre 0 et 100 degrés, dans un Mémoire qui vient de paraître (*Annales de Poggendorff*, tome LXI, page 226), et dont la traduction sera donnée dans un prochain numéro de ces *Annales*. Il en diffère par la manière d'obtenir les températures stationnaires auxquelles les observations doivent être faites.

Les ménisques dans le tube recourbé *abc* et dans le manomètre *hilk*, étaient relevés simultanément au moyen de deux cathétomètres par deux observateurs. Cette précaution est essentielle, surtout pour les tensions un peu considérables, parce que l'air renfermé dans le tube *hi* du manomètre fonctionne comme thermomètre à air; si les observations se font successivement, il pourra résulter des erreurs notables des déplacements des ménisques produits par les petits changements de température qui peuvent survenir dans l'air ambiant.

Dans la plupart des expériences qui précèdent, la colonne de mercure qui transmet la pression est chauffée à la même température que la vapeur dont on mesure la tension, et quelquefois l'espace dans lequel se développe la vapeur est en communication facile avec le tube renfermant le mercure; cela arrive surtout dans l'appareil décrit page 278. Or, si dans les limites de température où nous opérons, la tension de vapeur du mercure était notable, cette tension pourrait s'ajouter à celle du liquide soumis à l'observation, et rendre les déterminations inexactes. Il est donc nécessaire de déterminer directement la force élastique de la vapeur de mercure entre 0 et 100 degrés.

M. Magnus emploie pour cela un appareil composé de plusieurs caisses en tôle concentriques, qui sont chauffées en dessous au moyen de lampes à alcool. J'ai eu occasion, dans une Note insérée (*Annales de Chimie et de Physique*, tome VI, page 370), de faire quelques objections contre cette méthode. M. Magnus pense les réfuter, en citant une expérience dans laquelle deux thermomètres à air, disposés de manière à ce que l'un de ces instruments enveloppât entièrement l'autre, ont marché constamment d'accord quand on a élevé successivement la température jusqu'à 250 degrés. Je ne pense pas que cette expérience lève la difficulté; je ne conçois pas, en effet, comment les deux thermomètres à air pourraient présenter des différences sensibles dans les circonstances où les place M. Magnus. Mon objection porte sur le cas d'un thermomètre à air comparé à un thermomètre à mercure (t. VI, p. 373). Cette méthode me paraît devoir surtout être rejetée pour les basses températures, qu'il est si facile d'obtenir stationnaires dans des bains liquides. M. Magnus n'aurait certainement pas rencontré de si grandes différences dans ses expériences sur la tension de la vapeur aqueuse aux basses températures, s'il avait employé des bains liquides.

J'ai fait voir, page 290, que l'on obtenait des valeurs assez exactes pour la tension de la vapeur aqueuse, lors même que le tube barométrique qui mesure la pression se trouve à une température plus basse de 8 à 10 degrés que celle du ballon dans lequel se développe la vapeur. J'ai eu occasion de constater le même fait sur l'essence de térébenthine, même pour des excès de température plus considérables. Il est probable, dans ce cas, que c'est l'air resté dans l'appareil qui, refoulé dans l'espace barométrique, sert à transmettre la pression développée dans le ballon. J'ai pensé que cette méthode serait, à plus forte raison, applicable à la détermination de la force élastique de la vapeur de mercure, entre les limites de température où celle-ci reste extrêmement faible.

J'ai introduit dans le ballon de l'appareil *fig.* 1 et 2, avec les tubes barométriques extérieurs au vase VV', 300 grammes environ de mercure très-pur, j'ai fait un grand nombre de fois le vide en chauffant le mercure, pour dessécher l'appareil; enfin, j'ai épuisé une dernière fois l'air et j'ai fermé le tube à la lampe. Le ballon ayant été enveloppé de glace fondante, j'ai pris la différence de niveau des deux colonnes de mercure. J'admets que la tension de la vapeur mercurielle est nulle à 0 degré, de sorte que la différence de niveau observée mesure simplement la force élastique de l'air resté dans l'appareil. On place maintenant le ballon dans de l'eau, dont on élève successivement la température jusqu'à l'ébullition, en prenant les précautions qui ont été exposées plus haut pour rendre les températures stationnaires au moment des observations. Les différences de hauteur des deux colonnes de mercure se composent alors de la force élastique de l'air resté dans l'appareil, et de la tension de la vapeur mercurielle; on aura donc celle-ci en retranchant de la différence de hauteur observée la force élastique de l'air calculée pour la température dont il s'agit, d'après sa force élastique observée directement à zéro.

Dans une première expérience, j'ai laissé à dessein dans

l'appareil une quantité un peu notable d'air ; la force élastique de cet air à o degré a été trouvée de $4^{mm},22$. Les tensions de la vapeur de mercure ont été trouvées :

		mm
à	0°00	0,000
	23,57	0,068
	38,01	0,098
	100,60	0,555 (*)

Dans une autre expérience, on a fait un vide presque parfait, en chauffant à l'ébullition le mercure renfermé dans le ballon pendant qu'on faisait le vide. La force élastique de l'air resté dans le ballon a été trouvée à o degré de $0^{mm},10$; on a ensuite obtenu les valeurs suivantes pour les tensions de la vapeur de mercure :

	mm
0°00	0,000
25,39	0,034
49,15	0,087
72,74	0,183
100,11	0,407

Ces deux séries d'expériences diffèrent notablement, quand on compare les valeurs relatives ; mais les différences absolues sont réellement très-petites et de l'ordre des incertitudes des observations. Elles suffisent, je pense, pour montrer que la tension de la vapeur de mercure à 100 degrés est d'environ $0^{mm},5$, et qu'à la température de 50 degrés, elle s'élève à peine à $0^{mm},10$; elle est donc à peu près négligeable au-dessous de 50 degrés, et je n'ai pas jugé nécessaire d'introduire cette correction dans les tableaux qui suivent.

(*) J'ai fait quelques déterminations de la tension de vapeur du mercure à des températures plus élevées en plaçant le ballon dans un bain d'huile. Vers 200 degrés les expériences sont devenues évidemment fautives, par suite de la distillation du mercure. Quoi qu'il en soit, voici les nombres que j'ai obtenus : il convient de ne les regarder que comme des approximations :

	mm
100°6	0,56
146,3	3,46
177,9	10,72
200,5	22,01

TABLEAU n° II.

SÉRIE A.

TEMPÉRATURES. therm. n° 8.	therm. n° 7.	MOYENNES des températures.	TENSIONS observées.	calculées.	DIFFÉRENCE.
			mm	mm	mm
0°00	0°00	0°00	4,695	"	"
0,00	0,00	0,00	4,665	"	"
0,00	0,00	0,00	4,675	"	"
20,16	20,18	20,17	17,62	"	"
20,14	20,18	20,16	17,64	17,563	+ 0,08
23,59	23,59	23,59	21,66	"	"
23,57	23,58	23,57	21,62	21,618	— 0,00
23,45	23,52	23,48	21,56	"	"
23,45	23,52	23,48	21,59	"	"
28,18	28,26	28,22	28,50	"	"
28,16	28,25	28,20	28,50	28,431	+ 0,07
28,03	28,09	28,06	28,13	28,200	— 0,07
28,07	28,11	28,09	28,31	"	"
31,04	31,11	31,08	33,62	33,559	+ 0,06
31,04	31,13	31,08	33,62	"	"
33,51	33,63	33,57	38,40	"	"
33,49	33,61	33,55	38,38	38,583	— 0,20
36,42	36,53	36,48	45,49	"	"
36,38	36,47	36,43	45,35	"	"
36,35	36,40	36,38	45,19	"	"
36,37	36,42	36,40	45,29	45,183	+ 0,11
36,54	36,62	36,58	45,76	"	"
36,56	36,62	36,59	45,76	"	"
40,71	40,79	40,75	57,58	57,146	+ 0,43
40,65	40,72	40,69	57,38	"	"
44,72	44,78	44,75	70,77	70,476	+ 0,29
49,65	49,75	49,70	90,69	90,617	+ 0,07
49,65	49,75	49,70	90,74	"	"

SÉRIE B.

therm. n° 8.	therm. n° 7.	moyennes	observées.	calculées.	différence.
0,00	0,00	0,00	4,65	"	"
0,00	0,00	0,00	4,65	"	"
0,00	0,00	0,00	4,65	"	"
19,81	19,83	19,82	17,26	17,199	+ 0,06
19,82	19,84	19,83	17,26	"	"
19,82	19,85	19,83	17,26	"	"
22,68	22,73	22,70	20,56	20,513	+ 0,05
22,69	22,73	22,71	20,58	"	"
22,70	22,74	22,72	20,56	"	"
24,65	24,68	24,67	23,07	"	"
24,65	24,69	24,67	23,10	23,092	+ 0,01
24,67	24,70	24,69	23,15	"	"
28,83	28,87	28,85	29,50	29,524	— 0,02
28,83	28,86	28,84	29,46	"	"

Suite du Tableau n° II.

SÉRIE *B* (*Suite*).

Températures. therm. n° 8.	Températures. therm. n° 7.	Moyennes des températures.	Tensions observées.	Tensions calculées.	Différence.
			mm	mm	mm
28°83	28°86	28°85	29°48	"	"
33,81	33,84	33,82	39,09	"	"
33,81	33,84	33,82	39,11	39,170	— 0,06
18,31	18,35	18,33	15,84	"	"
18,34	18,36	18,35	15,84	15,707	+ 0,06
18,36	18,37	18,36	15,84	"	"
18,38	18,38	18,38	15,88	"	"
20,99	20,97	20,98	18,60	"	"
21,00	20,98	20,99	18,54	"	"
21,01	20,99	21,00	18,60	18,495	+ 0,10
25,48	25,47	25,48	24,35	"	"
25,50	25,49	25,49	24,35	"	"
25,52	25,50	25,51	24,41	24,275	+ 0,15
25,56	25,51	25,53	24,45	"	"
32,16	32,21	32,19	35,86	"	"
32,18	32,21	32,20	35,88	35,737	+ 0,14
30,94	30,96	30,95	33,42	"	"
30,94	30,98	30,96	33,48	"	"
30,94	30,99	30,97	33,50	33,349	+ 0,15
30,97	31,00	30,98	33,48	"	"
30,97	31,00	30,98	33,54	"	"
34,18	34,22	34,20	40,22	"	"
34,18	34,23	34,21	40,26	40,031	+ 0,23
34,19	34,24	34,22	40,28	"	"
37,22	37,25	37,23	47,50	"	"
37,22	37,25	37,23	47,44	47,281	+ 0,16
37,22	37,25	37,23	47,46	"	"
39,39	39,39	39,39	53,34	53,142	+ 0,20
39,37	39,41	39,39	53,36	"	"
39,43	39,44	39,43	53,50	"	"
39,44	39,46	39,45	53,76	"	"
42,58	42,63	42,61	63,22	"	"
42,57	42,62	42,60	63,14	63,012	+ 0,13
42,56	42,61	42,59	63,26	"	"
42,57	42,63	42,60	63,26	"	"
16,49	16,50	16,50	14,05	13,972	+ 0,08
16,50	16,52	16,51	14,09	"	"
16,54	16,55	16,54	14,07	"	"

Tableau n° III.

SÉRIE C.

TEMPÉRAT. th. n° 7.	TENSIONS observées.	TENSIONS calculées.	DIFFÉRENC.
	mm	mm	mm
0°00	4,58	"	"
0,00	4,55	"	"
0,00	4,54	"	"
0,00	4,60	"	"
0,00	4,58	"	"
0,00	4,56	"	"
0,00	4,58	"	"
11,49	9,96	"	"
11,52	9,97	10,133	— 0,16
11,54	10,04	"	"
11,54	10,02	"	"
13,84	11,66	"	"
13,84	11,70	11,785	— 0,08
13,85	11,70	"	"
14,04	11,84	11,939	— 0,10
14,04	11,82	"	"
14,06	11,85	"	"
16,43	13,76	"	"
16,46	13,83	13,937	— 0,10
19,12	16,34	"	"
19,12	16,40	16,468	— 0,07
19,13	16,44	"	"
15,93	13,36	13,475	— 0,11
15,94	13,37	"	"
18,10	15,32	15,453	— 0,13
18,09	15,32	"	"
18,11	15,32	"	"
20,28	17,59	"	"
20,23	17,56	"	"
20,25	17,52	17,661	— 0,13
20,29	17,56	"	"

SÉRIE C.

TEMPÉRAT. th. n° 7.	TENSIONS observées.	TENSIONS calculées.	DIFFÉRENCE
	mm	mm	mm
20°29	17,64	"	"
20,29	17,63	"	"
22,85	20,52	"	"
22,85	20,58	20,699	— 0,12
22,86	20,56	"	"
22,88	20,61	"	"
25,59	24,25	"	"
25,56	24,22	24,347	— 0,12
25,56	24,19	"	"
28,14	28,21	28,332	— 0,12
28,13	28,15	"	"
30,30	31,92	32,096	— 0,17
30,29	31,91	"	"
32,49	36,16	36,352	— 0,17
32,42	36,01	"	"
32,38	36,00	"	"
32,39	35,99	"	"
36,13	44,34	44,518	— 0,19
36,13	44,32	"	"
38,88	51,37	51,704	— 0,33
38,86	51,31	"	"

SÉRIE *D*.

TEMPÉRAT. th. n° 7.	TENSIONS observées.	TENSIONS calculées.	DIFFÉRENCE
0,00	4,69	"	"
0,00	4,67	"	"
0.00	4,67	"	"
0,00	4,65	"	"
8,20	8,14	"	"
8,24	8,18	"	"
8,27	8,20	8,1640	+ 0,04

Suite du Tableau n° III.

SÉRIE *D*.

TEMPÉRAT. th. n° 7.	TENSIONS observées.	TENSIONS calculées.	DIFFÉRENCE
	mm	mm	mm
8°28	8,26	"	"
9,00	8,58	8,574	+ 0,01
9,00	8,60	"	"
9,01	8,62	"	"
9,02	8,62	"	"
9,04	8,68	"	"
13,92	11,84	11,850	— 0,01
13,92	11,86	"	"
13,92	11,86	"	"
16,34	13,82	"	"
16,35	13,82	13,840	— 0,02
16,36	13,82	"	"
19,88	17,21	"	"
19,88	17,21	17,263	— 0,05
15,62	13,20	"	"
15,61	13,22	"	"
15,62	13,22	13,212	+ 0,01
15.62	13,24	"	"

SÉRIE *E*.

TEMPÉRAT. th. n° 7.	TENSIONS observées.	TENSIONS calculées.	DIFFÉRENCE
	mm	mm	mm
0°00	4,59	"	"
0,00	4,59	"	"
0,00	4,59	"	"
6,70	7,27	"	"
6,72	7,27	"	"
6,74	7,25	7,361	— 0,11
6,77	7,33	"	"
7,39	7,66	7,693	— 0,03
7,41	7,64	"	"
10,11	9,11	"	"
10,11	9,13	"	"

SÉRIE *E*.

TEMPÉRAT. th. n° 7.	TENSIONS observées.	TENSIONS calculées.	DIFFÉRENCE
	mm	mm	mm
10°11	9,15	9,232	— 0,08
13,60	11,54	"	"
13,60	11,56	11,605	— 0,04
13,60	11,52	"	"
13,60	11,52	"	"
14,92	12,55	"	"
14,92	12,57	12,634	— 0,06
14,91	12,57	"	"
16,54	13,89	"	"
16,55	13,91	"	"
16,55	13,87	"	"
16,55	13,91	14,016	— 0,10
18,32	15,53	"	"
18,32	15,61	15,667	— 0,06
18,32	15,59	"	"
20,51	17,81	"	"
20,51	17,81	17,946	— 0,13
20,54	17,85	"	"
22,84	20,53	"	"
22,84	20,53	20,687	— 0,15
22,85	20,55	"	"
9,98	9,07	"	"
9,98	9,01	"	"
9,98	9,07	"	"
9,98	9,09	9,153	— 0,06
17,25	14,57	"	"
17,25	14,55	14,650	— 0,10

SÉRIE *F*.

TEMPÉRAT. th. n° 7.	TENSIONS observées.	TENSIONS calculées.	DIFFÉRENCE
— 0,37	4,48	4,457	+ 0,02
—11,69	1,70	"	"

Suite du Tableau n° III.

SÉRIE *F*.

TEMPÉRAT. th. n° 7.	TENSIONS observées.	TENSIONS calculées.	DIFFÉRENCE
	mm	mm.	mm.
— 8°11	2,39	2,305	+ 0,08
— 4,61	3,19	3,100	+ 0,09
— 7,82	2,46	"	"
— 2,43	3,81	3,739	+ 0,07
— 0,83	4,34	"	"
—30,59	0,33	"	"
—28,13	0,47	0,427	+ 0,04
—23,95	0,53	"	"
—19,41	0,88	0,885	0,00
—16,83	1,16	1,100	+ 0,06
—14,62	1,38	"	"
—12,55	1,62	1,581	+ 0,04

SÉRIE *G*.

TEMPÉR. th. n° 7. therm. N.	therm. 2.	TENSIONS obs.	TENSIONS calcul.	DIFFÉR.
		mm.	mm.	mm.
—10°67	—10,71	1,88	1,851	+ 0,03
—10,29	—10°31	1,99	"	"
— 7,81	— 7,76	2,51	"	"
— 7,56	— 7,59	2,49	2,423	+ 0,07
— 5,51	— 5,57	2,94	"	"
— 5,37	— 5,43	2,96	3,022	— 0,06
— 3,72	— 3,75	3,39	3,347	+ 0,04
— 3,68	— 3,75	3,41	"	"

SÉRIE *G*.

therm. N.	therm. 2.	obs.	calcul.	DIFFÉR.
		mm.	mm.	mm.
0°00	0°00	4,61	"	"
—27,11	"	0,46	"	"
—28,45	"	0,38	"	"
—28,39	"	0,43	"	"
—28,00	"	0,41	0,430	— 0,02
—27,80	"	0,48	0,438	+ 0,04
—25,31	"	0,52	"	"
—25,00	"	0,52	0,553	— 0,03
—22,74	"	0,71	"	"
—21,79	"	0,71	0,724	— 0,01
—21,16	"	0,73	"	"
—18,69	"	0,93	"	"
—18,41	"	0,98	0,963	+ 0,02
—16,43	"	1,17	1,138	+ 9,03
—16,15	"	1,15	"	"
—13,25	"	1,51	"	"

SÉRIE *H*.

0°00	"	4,54	"	"
0,00	"	4,54	"	"
0,00	"	4,54	"	"
0,00	"	4,58	"	"
0,00	"	4,58	"	"
0,00	"	4,57	"	"
0,00	"	4,58	"	"
—32,84	"	0,27	"	"
—32,78	"	0,28	"	"
—32,26	"	0,29	"	"
—30,67	"	0,33	"	"
—30,89	"	0,32	0,339	— 0,02
—30,46	"	0,33	"	"
—29,66	"	0,34	"	"
—23,23	"	0,61	"	"
—23,00	"	0,66	0,654	+ 0,01
—23,71	"	0,57	"	"
—23,51	"	0,59	"	"
—22,27	"	0,66	"	"
—22,10	"	0,66	"	"
—20,49	"	0,76	"	"

Suite du TABLEAU n° III.

SÉRIE *H*.				
TEMPÉR. th. n° 7. therm. N.	therm. 2.	TENSIONS obs.	TENSIONS calcul.	DIFFÉR.
		mm	mm	mm
—20°28	"	0,72	"	"
—18,78	"	0,91	0,933	— 0,02
—18,59	"	0,89	0,948	— 0,05
—17,32	—17°43	1,01	"	"
—17,10	—17,14	1,04	"	"
—14,36	—14,44	1,34	"	"
—14,17	—14,26	1,38	1,372	+ 0,01
—12,53	—12,59	1,61	"	"
—12,26	—12,32	1,63	"	"
—10,60	—10,65	1,97	1,862	+ 0,10
—10,47	—10,49	1,99	"	"
— 7,84	— 7,90	2,40	2,355	+ 0,04
— 7,64	— 7,73	2,40	"	"
— 6,37	— 6,38	2,79	"	"
— 6,39	— 6,41	2,82	"	"
— 6,20	— 6,24	2,88	"	"
— 4,87	— 4,86	3,20	3,037	+ 0,16
— 4,82	— 4,84	3,20	"	"
— 3,64	— 3,64	3,47	"	"
— 3,51	— 3,52	3,52	"	"
— 2,16	— 2,11	3,91	"	"
— 2,38	— 2,40	3,85	"	"
th. n° 7.				
+ 2,48	"	5,41	"	"
+ 2,24	"	5,31	"	"
+ 2,30	"	5,32	"	"
+ 3,84	"	5,95	"	"
+ 3,85	"	5,97	"	"
+ 5,99	"	6,91	"	"
+ 5,98	"	6,91	"	"

SÉRIE *H*.				
TEMPÉR. th. n° 7.	therm. 2.	TENSIONS obs.	TENSIONS calcul.	DIFFÉR.
		mm	mm	mm
+ 7°96	"	7,94	"	"
+ 7,96	"	7,88	"	"
+ 7,95	"	7,92	"	"
+ 9,71	"	8,87	"	"
+ 9,70	"	8,87	"	"
SÉRIE *I*.				
0°00		4,54	"	"
0,00		4,54	"	"
0,00		4,52	"	"
0,00		4,54	"	"
0,00		4,52	"	"
0,00		4,54	"	"
0,00		4,52	"	"
0,00		4,50	"	"
0,00		4,50	"	"
0,00		4,54	"	"
SÉRIE *J*.				
0°00		4,56	"	"
0,00		4,53	"	"
0,00		4,56	"	"
0,00		4,54	"	"
0,00		4,52	"	"
0,00		4,52	"	— 0,08
7,61		7,64	7,808	— 0,168
9,93		8,94	9,122	— 0,182
12,34		10,46	10,693	— 0,233
16,42		13,60	13,902	— 0,302

Suite du Tableau n° III.

SÉRIE *K*.			DIFFÉRENCE
TEMPÉRAT. th. n° 7.	TENSIONS observées.	TENSIONS calculées.	
	mm	mm	mm
0°00	4,54	"	"
0,00	4,54	"	"
0,00	4,52	"	"
0,00	4,54	"	"
0,00	4,54	"	"
0,00	4,56	"	"
0,00	4,54	"	"
0,00	4,56	"	"
7,61	7,63	"	"
7,61	7,65	7,808	— 0,158
9,93	8,95	9,122	— 0,172
9,93	8,93	"	"
12,34	10,47	10,692	— 0,222
12,34	10,45	"	"
16,42	13,58	"	"
16,42	13,62	13,901	— 0,281

SÉRIE *L*.			
0°00	4,66	"	"
0,00	4,67	"	"
0,00	4,64	"	"
0,00	4,62	"	"
0,00	4,64	"	"
0,00	4,66	"	"
0,00	4,67	"	"
0,00	4,66	"	"
0,00	4,66	"	"
9,77	9,03	"	"
9,80	9,02	9,044	— 0,02
9,83	9,07	"	"

SÉRIE *L*.			DIFFÉRENCE
TEMPÉRAT. th. n° 7.	TENSIONS observées.	TENSIONS calculées.	
	mm	mm	mm
12°75	11,00	"	"
12,75	10,98	10,982	— 0,00
15,63	13,13	"	"
15,63	13,18	13,22	— 0,04
18,94	16,25	"	"
18,97	16,27	16,284	— 0,01
18,97	16,29	"	"
21,37	18,77	"	"
21,37	18,82	18,918	— 0,10
24,36	22,64	"	"
24,36	22,65	22,668	— 0,02
27,09	26,64	26,646	0,00
27,09	26,68	"	"
28,27	28,58	"	"
28,28	28,65	28,564	+ 0,09
26,87	26,36	26,31	+ 0,05
26,87	26,37	"	"
33,71	38,92	"	"
33,70	38,87	38,909	— 0,04
37,07	46,83	"	"
37,06	46,89	46,845	+ 0,04
37,06	46,82	"	"
41,03	57,97	58,002	— 0,03
41,03	58,06	"	"
41,02	57,97	"	"
44,08	68,21	"	"
44,08	68,24	"	"
44,08	68,09	68,072	+ 0,02
35,13	42,29	42,129	+ 0,16
35,13	42,35	"	"
35,13	42,27	"	"

Fin du Tableau n° III.

SÉRIE *M*.				SÉRIE *M*.			
TEMPÉRAT. th. n° 7.	TENSIONS observées.	TENSIONS calculées.	DIFFÉRENCE	TEMPÉRAT. th. n° 7.	TENSIONS observées.	TENSIONS calculées.	DIFFÉRENCE
	mm	mm	mm		mm	mm	mm
0°00	4,66	"	"	26°68	26,08	26,012	+ 0,07
0,00	4,66	"	"	26,68	26,10	"	"
0,00	4,66	"	"	36,15	44,54	"	"
25,69	24,51	"	"	36,17	44,63	"	"
25,69	24,54	24,533	— 0,01	36,17	44,65	44,615	+ 0,03
35,87	43,86	"	"	44,39	69,31	"	"
35,87	43,90	43,886	+ 0,01	44,38	69,25	69,142	+ 0,13
43,66	66,67	"	"	51,22	97,41	97,718	— 0,30
43,66	66,60	66,602	0,00	51,21	97,39	"	"
43,62	66,57	"	"	53,61	109,90	"	"
49,58	90,10	90,076	+ 0,02	53,63	109,96	109,954	0,00
49,58	90,04	"	"	53,66	110,16	"	"
49,58	90,04	"	"	58,34	137,29	"	"
14,37	12,25	12,220	+ 0,03	58,38	137,78	"	"
14,40	12,30	"	"	58,37	137,66	137,632	+ 0,03
26,69	26,12	"	"				

Les tableaux qui précèdent renferment toutes les expériences que j'ai faites sur les forces élastiques de la vapeur d'eau dans les basses températures; mais je ne regarde pas toutes les séries comme présentant les mêmes garanties d'exactitude. Ainsi, les séries *J*, *K* m'inspirent peu de confiance, par cela seul que les différences entre les nombres calculés et les nombres observés vont continuellement en augmentant avec la température.

IV. — Les méthodes que j'ai exposées dans les précédents chapitres ne conviennent que pour des températures inférieures à 60 ou 70 degrés; dans les degrés supérieurs, l'eau se divise si promptement en couches inégalement chaudes, qu'il faut une agitation permanente pour empêcher cette séparation d'avoir lieu; ces méthodes deviennent d'ailleurs complétement impraticables dans les températures supérieures à 100 degrés.

J'ai eu recours, pour les températures élevées, à un procédé bien connu, et qui a été employé par plusieurs physiciens, notamment par MM. Arago et Dulong. Ce procédé consiste à déterminer la température à laquelle l'eau bout sous des pressions déterminées; il présente l'avantage de pouvoir être employé pour les pressions les plus élevées, et il donne des résultats très-exacts, quand il est convenablement employé.

Dans l'appareil de MM. Arago et Dulong, l'eau n'entrait réellement pas en ébullition (*Annales de Chimie et de Physique*, 2e série, tome XLIII, page 74); sa force élastique augmentait par l'action de la chaleur, jusqu'à un certain maximum, que l'on déterminait sur un manomètre à air, en même temps que l'on observait les thermomètres plongés dans la vapeur et dans l'eau liquide de la chaudière; d'autres fois on observait simultanément les thermomètres et le manomètre lorsque la température était encore ascendante et approchait du maximum. On peut craindre, dans cette manière d'opérer, que les thermomètres, qui sont nécessairement un peu en retard sur la température de la vapeur, n'atteignent pas le même degré que celle-ci au moment où ils marquent leur maximum.

L'erreur qui peut résulter de là est probablement très-faible, ou même insensible dans les expériences faites sous de grandes pressions, parce que dans ce cas une très-petite différence de température correspond à un grand changement de force élastique; mais l'erreur ne serait proba-

blement pas négligeable dans les pressions faibles, par exemple dans celles qui sont inférieures à la pression de l'atmosphère. Mais il est facile de mettre ce procédé à l'abri de toute objection, en disposant l'expérience dans des conditions tout à fait identiques avec celles dans lesquelles on fait bouillir l'eau sous la pression ordinaire de l'atmosphère, lorsque l'on fixe le point 100 des thermomètres, et la température à laquelle l'eau entre en ébullition sous les différentes pressions peut être déterminée avec la même précision. Il suffit pour cela de faire bouillir l'eau dans un vase qui communique librement avec un espace un peu vaste dans lequel on comprime de l'air ou dans lequel on dilate l'air à volonté ; cet air forme une atmosphère artificielle qui exerce une pression à la surface du liquide chauffé. On obtient ainsi une température d'ébullition aussi parfaitement stationnaire que celle que présente l'eau qui bout à l'air libre, et on peut maintenir cette température stationnaire aussi longtemps que l'on veut. L'appareil que j'ai disposé pour satisfaire à ces diverses conditions est représenté *fig. 6*. Il consiste en une cornue en cuivre rouge A fermée par un couvercle boulonné. Ce couvercle porte quatre tubes en fer, fermés par le bas : deux de ces tubes plongent jusque près du fond de la cornue, les deux autres ne descendent que jusqu'au milieu. Ces tubes, qui ont 7 millimètres de diamètre intérieur et 1 millimètre environ d'épaisseur, sont enveloppés d'un manchon très-mince en cuivre, attaché au couvercle et portant des ouvertures *o*, *o*, *o* à la partie supérieure. Le col de la cornue s'engage dans un tube TT′ de 1 mètre environ de long, enveloppé d'un manchon en cuivre dans lequel on fait arriver un courant continuel d'eau froide : ce tube communique avec un ballon B en cuivre de 24 litres de capacité, renfermé dans un vase VV′ plein d'eau à la température ambiante. Le ballon porte à sa partie supérieure un ajutage à deux branches : dans l'une de ces branches *xs* on mastique le tube *egh* de l'appareil *fig. 2*,

lorsqu'on fait des expériences sous des pressions plus faibles que celle de l'atmosphère, ou le tube *pq* de l'appareil *fig.* 8, dans les expériences qui se font sous des pressions plus considérables. La seconde branche peut communiquer, au moyen d'un tube de plomb *tt'*, soit avec une machine pneumatique pour raréfier l'air dans l'appareil, soit avec une pompe foulante quand on veut le condenser.

Les quatre tubes en fer sont remplis de mercure jusqu'à une distance de quelques centimètres de l'orifice supérieur; des thermomètres à mercure étaient maintenus dans ces tubes; les réservoirs de ces thermomètres descendent jusqu'au fond des tubes, deux de ces thermomètres se trouvent ainsi plongés dans l'eau, et deux se trouvent dans la vapeur.

On fait le vide dans l'appareil, de manière à n'y laisser qu'une pression très-faible. On chauffe l'eau à l'ébullition, la vapeur vient se condenser dans le réfrigérant TT' et retombe dans la cornue. La pression sous laquelle l'ébullition a lieu est mesurée par la différence de hauteur du mercure dans le tube et le niveau du mercure dans le baromètre. La colonne de mercure soulevée dans le tube qui communique avec le ballon n'est jamais absolument stationnaire, elle a presque toujours un petit mouvement d'oscillation, mais ce mouvement n'a lieu que dans une amplitude extrêmement restreinte qui ne s'élève pas à $\frac{1}{10}$ de millimètre, quand on règle convenablement le feu sous la cornue. L'observateur suivait le ménisque sous le fil de la lunette du cathétomètre, et il lui était facile d'observer le ménisque dans des moments où il était absolument stationnaire; la position qu'occupait alors le ménisque était précisément la position moyenne entre les positions extrêmes qu'il prenait pendant ses très-petites oscillations. Le baromètre qui plonge dans la même cuvette ne présente pas d'oscillations sensibles, de sorte que l'on peut le relever à son aise après l'observation du ménisque.

Un second observateur lisait de loin avec une lunette les

thermomètres plongés dans la cornue; on évitait ainsi les erreurs de parallaxe dans la lecture.

On faisait de cette manière un certain nombre de déterminations sous la même pression, en laissant entre deux déterminations consécutives un intervalle de huit à dix minutes; il était facile de reconnaître ainsi la parfaite constance des températures indiquées par les thermomètres pour une même pression, et de s'assurer que le moindre changement dans la pression était indiqué immédiatement par une variation correspondante dans la température.

Pour obtenir une plus grande pression dans l'appareil, on ouvrait avec précaution le robinet *r*, et on laissait entrer la quantité d'air nécessaire pour établir la pression désirée.

On obtenait ainsi successivement les températures de l'ébullition de l'eau, depuis les pressions les plus faibles jusqu'à celle de l'atmosphère. Cette dernière était mesurée sur le baromètre même de l'appareil, en opérant comme il a été dit page 287.

Pour déterminer les températures auxquelles l'eau bout sous des pressions plus grandes que celles de l'atmosphère, on disposait l'appareil de la manière qu'il est représenté dans la *fig.* 6; c'est-à-dire que l'on remplaçait l'appareil mesureur de la *fig.* 2 par celui de la *fig.* 8, et l'on mettait le tube *tt'* en communication avec une pompe foulante à air.

Le tube *mn* a 4 mètres environ de longueur et 14 millimètres de diamètre intérieur; il est appliqué le long d'une planche maintenue exactement dans la verticale. Trois thermomètres à gros réservoir, convenablement espacés, donnent la température moyenne de la colonne de mercure dans le tube *mn*.

Au moyen de la pompe foulante on établit la pression que l'on veut dans l'appareil. Cette pression est mesurée par la hauteur du baromètre, augmentée par la hauteur de mercure qui représente la différence des deux niveaux du mercure dans les tubes *mn* et *pq*. La détermination de cette dernière

hauteur exige des précautions, si on veut l'obtenir avec une grande exactitude. Dans la disposition actuelle de l'appareil, les colonnes de mercure oscillent toutes deux dans les tubes *mn* et *pq*. Ces oscillations n'ont lieu qu'entre de très-petites amplitudes, et elles ne sont souvent bien sensibles que dans la lunette du cathétomètre qui grossit beaucoup : cependant on s'exposerait à des erreurs de mesure qui ne seraient pas négligeables, si l'on voulait relever successivement avec le même cathétomètre le ménisque dans le tube *mn* et le ménisque dans le tube *pq*. Cette opération est d'ailleurs impossible quand la différence de niveau dépasse 1 mètre, qui est la plus grande longueur de course de nos cathétomètres. On se servait de deux cathétomètres à la fois. Chacun de ces instruments suivait un des ménisques : il devenait alors facile d'observer des positions parfaitement correspondantes des deux ménisques, en choisissant le moment où les amplitudes d'oscillation étaient très-petites ($\frac{1}{10}$ de millimètre) autour d'une position d'équilibre. Les observations se faisaient simultanément par les deux observateurs, sur le signal donné par l'un d'eux. Les deux cathétomètres se réglaient sur un même point de repère tracé sur le tube *pq*, très-près de la position dans laquelle on amenait constamment le ménisque.

On avait tracé également sur le tube *mn*, à des intervalles de $0^m,90$, des points de repère dont les distances ont été relevées un grand nombre de fois au moyen du cathétomètre. Entre ces différentes déterminations d'une même longueur de plus de 3 mètres, on n'a jamais trouvé de différence s'élevant à $\frac{1}{10}$ de millimètre; ce qui prouve suffisamment l'exactitude du procédé de mesure. J'ai voulu rechercher encore, par des mesures directes, si les échelles des deux cathétomètres étaient identiques, et quel degré de précision on pouvait attendre de ce mode d'observation. A cet effet, j'ai placé les deux instruments en face l'un de l'autre, de telle sorte qu'au moyen de la lunette de l'un on vît de la manière

la plus distincte les divisions de l'autre, et *vice versâ*. J'ai relevé ensuite, de 5 en 5 centimètres, les divisions de l'un des instruments au moyen de l'appareil micrométrique de l'autre. Je n'ai obtenu ainsi, sur la course totale de 1 mètre, nulle part une différence qui s'élevât jusqu'à $\frac{1}{20}$ de millimètre. Pour obtenir une pareille précision dans les mesures, il est évident que les instruments doivent être construits avec une grande perfection, les lunettes ne doivent pas avoir une trop grande longueur focale ($0^m,30$), et surtout les niveaux des lunettes doivent être d'une extrême sensibilité. Les niveaux des cathétomètres de M. Gambey indiquent facilement des inclinaisons de 1 seconde. Les verniers donnent immédiatement le $\frac{1}{50}$ de millimètre, et il est facile d'apprécier le $\frac{1}{100}$.

Les thermomètres à mercure que j'employais dans ces expériences étaient des thermomètres ordinaires à tiges droites; une portion des colonnes de mercure dépassait nécessairement le couvercle de la cornue et ne se trouvait pas à la température de la vapeur; elle avait par conséquent besoin d'une correction. Cette correction serait facile si on connaissait avec une exactitude suffisante la température moyenne de ces colonnes. Lorsque la tige est à l'air libre, la température des différents points de la colonne non plongée est variable suivant la distance de ces points au couvercle de la chaudière. Pour éviter toute cause d'incertitude, MM. Dulong et Arago ont employé des thermomètres dont les tiges étaient courbées à angle droit immédiatement au sortir des tubes de fer et renfermées dans des tubes de verre horizontaux dans lesquels circulait un courant d'eau froide dont la température était donnée par un petit thermomètre.

Au moyen de cet artifice on diminue beaucoup la longueur de la colonne dont la température est incertaine; mais il reste toujours une portion notable de la tige, à l'endroit de la courbure, qui ne peut être maintenue dans l'eau et dont on ne connaît pas la température. Les thermomètres

ainsi contournés présentent d'ailleurs plusieurs inconvénients graves. Pour que leur calibrage soit exact, il faut que leur échelle se trouve tout entière dans la partie horizontale de la tige ; par conséquent, la correction doit porter sur un nombre de degrés très-considérable. La position des points fixes est aussi plus difficile à déterminer d'une manière certaine sur les thermomètres recourbés que sur les thermomètres à tiges droites. Ces considérations m'ont déterminé à employer des thermomètres à tiges droites disposés de façon à ce qu'une portion seulement de l'échelle sortît au dehors de la cornue. Un petit thermomètre placé au milieu environ des colonnes non plongées donnait la température que l'on prenait pour l'expression de la température moyenne des colonnes de mercure non plongées. Restait à savoir si les corrections ainsi faites étaient suffisamment exactes ou si elles devaient être modifiées pour acquérir leur valeur véritable. Pour décider cette question, j'ai fait les expériences suivantes :

Un thermomètre très-exact, parfaitement purgé d'air et ayant une course de 0 à 110 degrés, portait à l'extrémité de sa tige un renflement dans lequel on pouvait déverser une portion de son mercure. On prenait avec le plus grand soin le zéro de ce thermomètre dans la glace fondante, et le point 100 dans la vapeur de l'eau bouillante, la tige étant entièrement plongée dans la vapeur. On plaçait immédiatement le même thermomètre dans l'un des tubes en fer de la cornue dans laquelle l'eau bouillait, sous la pression de l'atmosphère ; une portion de la tige sortait, dans ce cas, de la cornue. La température indiquée par le thermomètre dans cette circonstance, étant corrigée pour la portion de colonne non plongée, en prenant pour base la température indiquée par un petit thermomètre, dont le réservoir était placé à la hauteur du milieu de la colonne, s'est trouvée identique avec celle que l'on avait obtenue précédemment dans l'appareil où la tige entière plongeait dans la vapeur.

Cette expérience n'était pas concluante pour démontrer l'exactitude de la correction, car il faudrait admettre pour cela que le thermomètre à mercure, plongé dans le tube de fer, indique exactement la température de la vapeur de la cornue. Ce dernier résultat pouvant être démontré d'une manière directe, je n'ai pas négligé de le faire. Pour cela, j'ai fait sortir de la tige de notre thermomètre une portion du mercure, et je l'ai déversée dans le réservoir supérieur, de telle sorte que, le thermomètre étant maintenant plongé de nouveau dans le tube en fer de la cornue, l'eau étant en ébullition sous la pression ordinaire de l'atmosphère, le mercure s'arrêtât à la hauteur de quelques millimètres au-dessus du couvercle. J'ai observé avec le plus grand soin, au moyen de la lunette horizontale d'un cathétomètre, la division marquée par le thermomètre; puis j'ai plongé l'instrument dans l'appareil qui me sert pour déterminer le point 100 des thermomètres, et j'ai relevé de même la division à laquelle s'est arrêtée la colonne de mercure. Il m'a été impossible de constater ainsi la moindre différence entre les températures indiquées par le thermomètre dans ces deux circonstances, bien que 1 degré occupât une longueur de 6 divisions de l'échelle.

Les deux expériences précédentes réunies démontrent 1° que les thermomètres prennent dans les circonstances où ils sont placés dans l'appareil *fig.* 7, la température de la vapeur; 2° que le mode de correction que j'ai indiqué pour la portion non plongée de la tige est exact pour la température de 100 degrés. Le maximum de la correction s'élevait, dans ce cas, à 0°,35 pour mes thermomètres. J'ai admis que le même mode de correction pouvait convenir dans les températures inférieures à 100 degrés.

Les thermomètres employés dans les expériences qui ont été faites sous des pressions inférieures à celles de l'atmosphère ne marchaient que de 0 à 100 degrés, ils avaient de 6 à 8 divisions par degré; il était facile par conséquent de

lire avec certitude $\frac{1}{10}$ de degré. Les quatre thermomètres qui ont été employés dans les expériences faites sous de grandes pressions avaient une marche de 0 à 240 degrés environ. Le degré centigrade valait $2^{D},5$ à 3^{D} de leur échelle. Tous ces instruments avaient été gradués et vérifiés par nous-même avec le plus grand soin.

Pour corriger les portions de colonne non plongées dans les expériences sous les hautes pressions, j'ai fait les expériences suivantes :

On faisait bouillir l'eau dans la cornue, sous une pression déterminée plus grande que celle de l'atmosphère ; trois des quatre thermomètres plongeaient dans les tubes de fer : dans le quatrième tube de fer, on disposait le thermomètre à déversement, amorcé de telle façon que la colonne de mercure s'arrêtât à quelques millimètres au-dessus du couvercle, et n'eût par conséquent pas besoin de correction ; on relevait alors les indications des quatre thermomètres. Pour pouvoir calculer la température indiquée par le thermomètre à déversement, il suffisait de connaître la position du point 100 sur l'instrument ; cette position était déterminée directement en plongeant le thermomètre dans la vapeur de l'eau bouillante, sous la pression de l'atmosphère.

On connaissait donc la température donnée par le thermomètre à déversement qui n'exigeait aucune correction, et celles données par les autres thermomètres, qui avaient besoin d'être corrigées pour la portion de leur colonne qui sortait de la cornue ; il était par conséquent facile de voir si le mode de correction employé ramenait toutes ces indications à l'égalité ; il est bon de faire remarquer que les portions de tiges non plongées étaient notablement différentes sur les divers thermomètres et subissaient par conséquent des corrections absolues très-différentes.

Ces expériences ont été faites aux températures de 110, 120, 130 et 140 degrés environ ; on a reconnu qu'entre

ces limites de température, les corrections étant faites sur les tiges, en admettant que leur température moyenne est indiquée par un thermomètre à mercure, dont le réservoir occupe la région moyenne, les thermomètres ne présentaient jamais, avec le thermomètre à déversement, des différences s'élevant à 0°,2. Ces différences peuvent très-bien être attribuées, au moins en partie, à l'inégalité de marche des instruments. J'ai admis, d'après cela, que la correction faite sur les colonnes non plongées, d'après le principe que j'ai exposé, pouvait être considérée comme suffisamment exacte jusqu'à 145 degrés.

Je réunis dans les tableaux suivants les résultats qui ont été obtenus. J'ai donné séparément les températures indiquées par les thermomètres qui sont plongés dans le liquide, et celles des thermomètres plongés dans la vapeur. On voit que dans l'ébullition de l'eau, sous de basses pressions, le thermomètre plongé dans l'eau marque une température notablement plus élevée que celui qui plonge dans la vapeur : la différence s'élève jusqu'à 0°,7 dans les très-faibles pressions; elle diminue à mesure que la température du liquide bouillant s'élève, c'est-à-dire à mesure que l'ébullition se fait sous une plus grande pression, et elle devient nulle quand l'ébullition a lieu sous la pression de l'atmosphère. Dans les pressions plus élevées, on n'observe pas non plus de différence sensible, ce qui m'a déterminé à inscrire dans les tableaux n° V qui se rapportent à ces pressions, la moyenne des quatre thermomètres.

J'ai commencé à dessein cette série d'expériences, sous des pressions très-faibles, afin de pouvoir comparer les résultats qu'elle donne avec ceux qui ont été obtenus pour les mêmes températures, au moyen des méthodes décrites dans les précédents chapitres. J'ai reconnu une concordance aussi parfaite qu'on peut le désirer; il est évident d'ailleurs que, dans les basses températures, les premières méthodes sont préférables.

Tableau n° IV. — SÉRIE *N*.

THERMOMÈTRES dans le liquide. O.	A.	MOYENNES.	THERMOMÈTRES dans la vapeur. N° 8.	N° 7.	MOYENNES.	TENSIONS observées	calculées.	DIFFÉR.
						mm	mm	mm
43°55	43°55	43°55	42°90	42°82	42°86	64,13	63,896	+ 0,25
43,64	43,55	43,59	42,89	42,83	42,86	64,13	"	"
43,64	43,46	43,55	42,91	42,83	42,87	64,12	"	"
49,49	49,50	49,495	48,95	48,99	48,97	87,59	"	"
49,49	49,52	49,50	48,98	49,02	49,00	87,57	"	"
49,53	49,54	49,535	48,98	49,00	48,99	87,55	87,455	+ 0,10
54,06	54,01	54,03	53,44	53,51	53,48	109,52	"	"
54,04	54,03	54,035	53,45	53,51	53,48	109,60	"	"
54,06	54,04	54,05	53,46	53,51	53,49	109,64	"	"
54,07	54,05	54,06	53,46	53,51	53,49	109,64	109,21	+ 0,43
54,06	54,04	54,05	53,46	53,51	53,49	109,66	"	"
57,37	57,38	57,375	56,78	56,86	56,82	128,47	"	"
57,38	57,38	57,38	56,78	56,84	56,81	128,49	128,091	+ 0,40
57,40	57,37	57,385	56,78	56,84	56,81	128,43	"	"
57,37	37,37	57,37	56,78	56,84	56,81	128,43	"	"
61,31	61,39	61,35	60,84	60,89	60,86	155,18	"	"
61,34	61,39	61,36	60,84	60,88	60,86	155,16	154,836	+ 0,32
61,38	61,47	61,42	60,88	60,93	60,90	155,40	"	"
66,25	66,34	66,30	65,83	65,89	65,86	194,62	194,280	+ 0,34
66,25	66,34	66,30	65,83	65,89	65,86	194,62	"	"
66,25	66,35	66,30	65,83	65,89	65,86	194,62	"	"
71,95	72,37	72,16	71,75	71,77	71,76	251,73	"	"
71,95	72,38	72,165	71,74	71,77	71,76	251,73	251,463	+ 0,27
71,95	72,39	72,17	71,74	71,78	71,76	251,79	"	"
76,69	76,83	76,76	76,49	76,47	76,48	306,71	306,908	— 0,19
76,69	76,81	76,75	76,50	76,48	76,49	306,71	"	"
76,68	"	"	76,46	76,44	76,45	306,47	306,524	— 0,05
76,68	76,79	76,73	76,46	76,43	76,45	306,41	"	"
80,28	80,40	80,34	80,13	80,10	80,115	356,00	"	"
80,28	80,40	80,34	80,13	80,10	80,115	356,00	356,229	— 0,23
80,28	80,40	80,34	80,12	80,09	80,105	356,00	"	"
83,24	83,33	83,28	83,08	83,06	83,07	401,28	"	"
83,24	83,33	83,28	83,07	83,05	83,06	401,30	"	"

Suite du Tableau n° IV. — Suite de la SÉRIE *N*.

Thermomètres dans le liquide.		Moyennes.	Thermomètres dans la vapeur.		Moyennes.	Tensions		Différ.
O.	A.		N° 8.	N° 7.		observées	calculées.	
						mm.	mm	mm
83°24	83°33	83°28	83°07	83°05	83°06	401,30	401,057	+ 0,24
83,24	83,32	83,28	83,07	83,04	83,06	401,30	"	"
86,81	86,80	86,80	86,66	86,65	86,65	462,27	"	"
86,81	86,83	86,82	86,66	86,66	86,66	462,26	"	"
86,81	86,85	86,83	86,66	86,67	86,67	462,34	462,257	+ 0,08
86,81	86,88	86,85	86,67	86,67	86,67	462,34	"	"
89,93	89,96	89,95	89,83	89,83	89,83	522,02	"	"
89,94	89,98	89,96	89,83	89,83	89,83	522,02	522,058	— 0,04
89,91	89,90	89,92	89,84	89,83	89,83	522,00	"	"
92,32	92,24	92,28	92,19	92,17	92,18	569,79	"	"
92,31	92,22	92,26	92,18	92,15	92,17	569,79	"	"
92,32	92,21	92,26	92,18	92,17	92,17	569,71	"	"
92,32	92,28	92,30	92,20	92,21	92,20	569,83	"	"
92,32	92,28	92,30	92,20	92,19	92,20	569,83	571,033	— 1,20
94,11	94,05	94,08	94,08	93,99	94,04	610,24	"	"
94,10	94,01	94,05	94,04	93,97	94,00	610,54	"	"
94,10	94,08	94,09	94,05	94,00	94,02	610,54	"	"
94,10	94,08	94,09	94,04	94,01	94,02	610,54	611,194	— 0,65
95,79	95,77	95,78	95,77	95,74	95,75	651,64	"	"
95,79	95,73	95,76	95,76	95,72	95,74	651,34	651,288	+ 0,05
95,79	95,74	95,78	95,77	95,73	95,74	651,32	"	"
96,93	96,83	96,88	96,83	96,82	96,83	677,88	"	"
96,92	96,83	96,88	96,85	96,82	96,84	677,98	678,060	— 0,08
96,92	96,86	96,89	96,89	96,85	96,87	677,92	"	"
96,92	96,89	96,90	96,87	96,82	96,84	677,88	"	"
98,75	98,82	98,78	98,76	98,70	98,73	727,07	726,205	+ 0,86
98,76	98,85	98,80	98,76	98,70	98,73	727,19	"	"
100,20	100,16	100,18	100,20	100,13	100,17	765,70	765,10	+ 0,60

SÉRIE *O*.

47,84	47,56	47,70	47,16	47,17	47,16	80,19	79,74	+ 0,55
47,84	47,57	47,70	47,14	47,18	47,16	80,19	"	"

Suite du TABLEAU n° IV. — Suite de la SÉRIE *O*.

THERMOMÈTRES dans le liquide.		MOYENNES.	THERMOMÈTRES dans la vapeur.		MOYENNES.	TENSIONS		DIFFÉR.
O.	A.		N° 8.	N° 7.		observées	calculées.	
						mm.	mm.	mm
62°40	62°40	62°40	62°06	62°01	62°04	163,44	163,469	— 0,02
62,40	62,41	62,40	62,06	62,01	62,04	163,44	"	"
62,40	62,40	62,40	62,08	62,00	62,04	163,44	"	"
71,75	71,76	71,75	71,42	71,45	71,44	248,17	248,045	+ 0,12
71,77	71,77	71,77	71,44	71,46	71,45	248,17	"	"
71,75	71,77	71,76	71,42	71,46	71,44	248,17	"	"
79,20	79,22	79,21	78,94	78,96	78,95	340,35	339,794	+ 0,56
79,20	79,22	79,21	78,94	78,95	78,95	340,27	"	"
79,20	79,21	79,20	78,94	78,95	78,95	340,27	"	"
84,34	84,35	84,35	84,15	84,15	84,15	419,72	"	"
84,34	84,34	84,34	84,15	84,15	84,15	419,62	418,765	+ 0,86
84,34	84,34	84,34	84,15	84,14	84,15	419,64	"	"
84,34	84,35	84,35	84,15	84,15	84,15	419,64	"	"
87,60	87,57	87,58	87,47	87,43	87,45	476,38	"	"
87,62	87,59	87,60	87,50	87,45	87,48	476,52	477,010	— 0,49
87,62	87,60	87,61	87,52	87,47	87,49	476,50	"	"
87,64	87,59	87,62	87,50	87,46	87,48	476,44	"	"
89,94	"	89,94	89,75	89,75	89,75	519,59	"	"
89,94	89,86	89,90	89,75	89,75	89,75	519,57	520,468	— 0,90
89,92	89,82	89,87	89,73	89,74	89,73	519,37	"	"
91,48	91,38	91,43	91,30	91,32	91,31	550,18	"	"
91,48	91,34	91,41	91,30	91,32	91,31	550,36	"	"
91,48	91,34	91,41	91,28	91,30	91,29	550,30	551,794	— 1,49
91,46	91,34	91,40	91,28	91,30	91,29	550,22	"	"
91,48	91,34	91,41	91,26	91,30	91,28	550,22	"	"
92,58	92,28	92,43	92,41	92,37	92,39	573,96	"	"
92,58	92,28	92,43	92,41	92,37	92,39	573,96	"	"
92,58	92,29	92,44	92,41	92,37	92,39	573,98	575,120	— 1,14
93,74	93,67	93,70	93,62	93,59	93,60	601,98	"	"
93,80	93,65	93,72	93,67	93,63	93,65	601,96	"	"
93,80	93,65	93,72	93,67	93,65	93,66	601,96	"	"
93,79	93,65	93,72	93,69	93,63	93,66	602,02	603,070	— 1,05

Suite du TABLEAU n° IV. — Suite de la SÉRIE *O*.

THERMOMÈTRES dans le liquide.		MOYENNES.	THERMOMÈTRES dans la vapeur.		MOYENNES.	TENSIONS		DIFFÉR.
O.	A.		N° 8.	N° 7.		observées	calculées.	
						mm	mm	mm
95°03	94°84	94°93	94°83	94°87	94°85	628,65	″	″
95,03	94,85	94,94	94,85	94,87	94,86	628,61	″	″
95,01	94,85	94,93	94,83	94,87	94,85	628,61	630,277	— 1,66
95,92	95,83	95,87	95,84	95,80	95,82	653,22	″	″
95,92	95,81	95,87	95,84	95,79	95,82	653,01	″	″
95,92	95,83	95,87	95,82	95,78	95,80	652,97	652,725	+ 0,25
95,92	95,80	95,86	95,80	95,77	95,79	652,95	″	″
96,93	96,77	96,85	96,76	96,77	96,76	676,24	″	″
96,91	96,76	96,83	96,76	96,77	96,76	676,18	676,083	+ 0,10
96,91	96,75	96,83	96,74	96,76	96,75	676,14	″	″
98,77	98,75	98,76	98,66	98,66	98,66	724,38	724,373	+ 0,00
98,75	98,76	98,76	98,66	98,67	98,66	724,18	″	″
100,23	100,10	100,16	100,25	100,12	100,18	765,11	765,114	0,00
SÉRIE *P*.								
47,73	47,87	47,80	47,00	47,10	47,05	79,69	79,294	+ 0,40
47,59	47,75	47,69	46,92	47,01	46,96	79,53	78,95	+ 0,58
52,72	52,92	52,82	52,16	52,15	52,16	102,82	102,34	+ 0,48
53,01	53,18	53,09	52,49	52,47	52,48	104,79	103,96	+ 0,83
62,93	63,20	63,06	62,52	62,56	62,54	167,93	167,249	+ 0,68
63,14	63,37	63,25	62,73	62,76	62,75	169,32	168,86	+ 0,46
70,60	70,88	70,74	70,28	70,28	70,28	236,62	235,94	+ 0,68
70,87	71,17	71,02	70,60	70,60	70,60	239,78	239,23	+ 0,55
75,45	75,62	75,53	75,18	75,18	75,18	291,31	290,70	+ 0,61
75,57	75,85	75,71	75,32	75,32	75,32	293,12	292,34	+ 0,78
79,69	79,91	79,80	79,50	79,51	79,50	348,16	347,50	+ 0,66
82,96	83,16	83,06	82,81	82,78	82,80	397,74	396,93	+ 0,81
85,03	85,20	85,11	84,89	84,90	84,90	432,29	431,34	+ 0,95
90,83	90,87	90,85	90,70	90,67	90,68	539,51	539,20	+ 0,31
93,73	93,71	93,72	93,70	93,60	93,65	604,08	602,87	+ 1,21
96,84	96,80	96,82	96,82	96,69	96,76	676,29	676,08	+ 0,21
99,98	100,02	100,00	99,90	99,87	99,87	760,48	757,13	+3,35*

* Cette dernière expérience est évidemment fautive, la cornue communiquait directement avec l'air extérieur.

Suite du TABLEAU n° IV. — SÉRIE *Q*.

THERMOMÈTRES dans le liquide.		MOYENNES.	THERMOMÈTRES. dans la vapeur.		MOYENNES.	TENSIONS		DIFFÉR.
O.	A.		N° 8.	N° 7.		observées	calculées.	
						mm	mm	mm
91°25	91°15	91°20	91°06	91°10	91°08	548,01	"	"
91,25	91,15	91,20	91,06	91,09	91,08	548,01	547,43	+ 0,58
91,25	91,15	91,20	91,07	91,10	91,09	547,91	"	"
94,34	94,18	94,26	94,15	94,14	94,15	614,96	"	"
94,34	94,19	94,27	94,15	94,15	94,15	614,94	614,15	+ 0,79
94,33	94,21	94,27	94,18	94,17	94,18	614,90	"	"
96,58	96,51	96,55	96,52	96,49	96,50	668,66	669,69	— 1,03
96,58	96,52	96,55	96,50	96,49	96,50	668,64	"	"
97,03	96,91	96,97	96,95	96,87	96,91	679,76	"	"
97,03	96,89	96,96	96,92	96,86	96,89	679,56	"	"
97,03	96,90	96,96	96,92	96,87	96,90	679,46	679,55	— 0,11
97,03	96,91	96,97	96,92	96,87	96,90	679,44	"	"
97,52	97,46	97,49	97,46	97,42	97,44	692,92	"	"
97,52	97,43	97,48	97,44	97,40	97,42	692,62	692,54	+ 0,08
97,52	97,42	97,47	97,41	97,38	97,40	692,62	"	"
97,51	97,43	97,47	97,42	97,40	97,41	692,48	"	"
98,45	98,49	98,47	98,39	98,41	98,40	717,85	717,60	+ 0,25
98,45	98,49	98,47	98,40	98,40	98,40	717,83	"	"
98,45	98,49	98,47	98,39	98,40	98,40	717,81	"	"
99,15	99,18	99,16	99,08	99,07	99,07	734,82	735,16	— 0,34
99,15	99,17	99,16	99,10	99,06	99,08	734,74	"	"
99,15	99,17	99,16	99,08	99,05	99,06	734,70	"	"
99,62	99,57	99,60	99,59	99,56	99,58	748,90	748,76	+ 0,14
99,62	99,57	99,60	99,61	99,57	99,59	748,92	"	"
99,62	99,57	99,60	99,59	99,57	99,58	748,84	"	"

Les tensions calculées ont été déterminées par la formule (A), en admettant la moyenne des températures indiquées par les deux thermomètres plongés dans la vapeur.

Tableau n° V. — SÉRIE *R*.

Thermomètres dans le liquide.		Moyennes.	Thermomètres dans la vapeur.		Moyennes.	Moyennes des 4 therm.	Tensions		Différ.
N° 10.	N° 12.		N° 0.	N° 11.			observées.	calculées.	
							mm	mm	mm
99°85	99°82	99°83	99°80	99°83	99°82	99°83	751,61	"	"
100,74	100,68	100,71	100,72	100,71	100,71	100,71	776,03	"	"
100,82	100,72	100,77	100,72	100,71	100,71	100,74	777,09	779,86	−2,77
105,14	105,06	105,10	105,07	105,06	105,06	105,08	904,87	905,45	+0,58
105,14	105,06	105,10	105,07	105,06	105,06	105,08	904,32	"	"
111,84	111,73	111,78	111,68	111,72	111,70	111,74	1131,60	1131,35	+0,25
111,84	111,73	111,78	111,68	111,72	111,70	111,74	1131,34	"	"
116,12	116,08	116,10	116,07	116,01	116,04	116,07	1302,37	1302,37	0,00
116,06	116,08	116,07	116,07	116,01	116,04	116,06	1302,23	"	"
122,72	122,67	122,70	122,56	122,50	122,53	122,59	1601,25	1600,52	+0,73
122,72	122,67	122,70	122,56	122,50	122,53	122,59	1601,25	"	"
128,51	128,57	128,54	128,53	128,41	128,47	128,50	1925,20	1918,02	+7,18
128,51	128,57	128,54	128,55	128,37	128,46	128,50	1925,48	"	"
128,63	128,69	128,66	128,66	128,49	128,57	128,62	1931,14	"	"
128,59	128,61	128,60	128,62	128,45	128,53	128,57	1929,36	"	"
131,38	131,39	131,38	131,38	131,23	131,30	131,35	2094,69	"	"
131,42	131,43	131,42	131,42	131,27	131,34	131,38	2096,47	2090,72	+5,75
135,70	135,71	135,70	135,75	135,55	135,65	135,68	2373,03	"	"
135,70	135,71	135,70	135,75	135,55	135,65	135,68	2373,03	2372,33	+0,70
138,37	138,36	138,36	138,28	138,20	138,24	138,30	2561,73	"	"
138,37	138,40	138,39	138,32	138,20	138,26	138,32	2561,50	2560,18	+1,32
140,92	140,91	140,91	141,01	"	"	140,95	2758,69	"	"
140,88	140,91	140,90	141,01	"	"	140,93	2756,17	2757,93	−1,76
143,88	143,93	143,90	144,10	143,76	143,93	143,92	2997,75	"	"
143,84	143,85	143,85	143,98	143,68	143,83	143,84	2992,79	2991,67	+1,12
145,69	145,67	145,68	145,68	145,58	145,63	145,65	3150,42	"	"
145,73	145,67	145,70	145,68	145,60	145,64	145,67	3149,41	3148,28	+1,13
145,73	145,71	145,72	145,72	145,60	145,66	145,69	3149,73	"	"
147,50	147,49	147,50	147,54	147,35	147,45	147,48	3307,33	3308,86	−1,53
147,50	147,49	147,50	147,54	147,35	147,45	147,48	3306,52	"	"
147,50	147,49	147,50	147,54	147,35	147,45	147,48	3306,39	"	"

Suite du Tableau n° V. — SÉRIE *S*.

Thermomètres dans le liquide.		Moyennes.	Thermomètres dans la vapeur.		Moyennes.	Moyennes des 4 therm.	Tensions		Différ.
N° 10.	N° 12.		N° 0.	N° 11.			observées.	calculées.	
							mm	mm	mm
128°34	128°28	128°31	128°44	128°19	128°32	128°32	1908°81	1907,64	+1,17
128,34	128,28	128,31	128,44	128,19	128,32	128,32	1910,09	"	"
128,27	128,24	128,25	128,40	128,15	128,28	128,27	1908,90	"	"
126,17	126,15	126,16	126,26	126,13	126,20	126,18	1794,11	1788,76	+5,35
126,17	126,15	126,16	126,24	126,13	126,18	126,17	1793,47	"	"
126,17	126,15	126,16	126,26	126,15	126,20	126,18	1793,12	"	"
122,90	122,87	122,88	123,02	122,82	122,90	122,89	1620,04	"	"
122,82	122,83	122,82	122,98	122,78	122,88	122,85	1618,54	1615,01	+3,53
122,82	122,83	122,82	122,94	122,78	122,86	122,84	1618,70	"	"
119,24	119,22	119,23	119,36	119,19	119,27	119,25	1447,30	1442,28	+5,02
119,24	119,22	119,23	119,36	119,19	119,27	119,25	1447,37	"	"
117,50	117,37	117,43	117,52	117,41	117,46	117,45	1364,90	1361,68	+3,22
117,46	117,41	117,43	117,52	117,37	117,44	117,44	1364,78	"	"
110,68	110,72	110,70	110,67	110,64	110,65	110,68	1095,44	1091,58	+3,86
110,68	110,68	110,68	110,67	110,64	110,65	110,66	1094,68	"	"
99,74	99,69	99,72	99,78	99,80	99,79	99,75	753,96	"	"

Les tensions calculées ont été déterminées au moyen de la formule (C), en admettant la température moyenne donnée par les quatre thermomètres.

Pour obtenir les tensions calculées dans la série *T*, on a admis les températures données par le thermomètre n° 11, qui est un de ceux qui ont été employés dans les séries *R* et *S*. Le thermomètre n° 2 a été cassé depuis par accident, c'est pour cela que je n'ai pas eu égard à ses indications.

Suite du Tableau n° V. — SÉRIE *T*.

THERMOMÈTRE dans la vapeur. N° 11.	THERMOMÈTRE dans le liquide. N° 2.	TENSION observée.	TENSION calculée.	DIFFÉRENCE.
		mm	mm	mm
121°13	121°16	1530,27	1530,68	— 0,41
121,13	121,16	1529,96	"	"
121,11	121,16	1529,18	"	"
123,91	123,90	1668,71	1668,88	— 0,17
123,91	123,94	1670,34	"	"
123,91	123,94	1670,32	"	"
128,47	128,40	1915,12	1912,25	+ 2,87
128,47	128,38	1915,96	"	"
130,18	130,12	2012,51	2013,65	— 1,14
130,20	130,15	2015,34	"	"
131,57	131,45	2097,93	2095,07	— 2,86
131,57	131,45	2097,93	"	"
131,63	131,51	2098,28	"	"
133,32	133,21	2209,20	2207,00	+ 2,20
133,28	133,20	2209,08	"	"
136,09	135,92	2387,99	"	"
136,02	135,85	2386,07	2382,84	+ 3,23
136,00	135,83	2386,81	"	"
137,52	137,75	2514,79	"	"
137,54	137,77	2515,30	2520,10	— 4,80
137,54	137,77	2515,30	"	"
137,54	137,77	2514,99	"	"
138,89	138,90	2599,23	2603,04	— 3,81
138,89	138,90	2599,18	"	"
138,87	138,88	2597,97	"	"
138,82	138,84	2597,34	"	"
138,80	138,82	2596,43	"	"
138,75	138,66	2591,65	"	"
138,74	138,66	2591,65	"	"
138,74	138,65	2591,29	"	"
138,73	138,64	2590,61	"	"
141,59	141,61	2803,05	"	"
141,54	141,57	2799,68	"	"
141,56	141,58	2801,18	2808,82	— 7,64
141,56	141,58	2801,77	"	"
141,56	141,59	2802,03	"	"
144,15	144,10	3010,19	"	"
144,17	144,12	3010,73	3015,93	— 5,20
144,17	144,12	3009,44	"	"
145,98	145,88	3161,67	"	"
145,98	145,88	3161,63	3166,64	— 5,01
145,98	145,88	3161,66	"	"
148,30	148,20	3360,74	"	"
148,30	148,20	3361,36	3374,53	—13,17
148,30	148,20	3361,36	"	"
148,30	148,24	3361,03	"	"
148,26	148,20	3359,54	"	"

Il s'agit maintenant de calculer une formule d'interpolation qui représente toutes les observations d'une manière satisfaisante, et au moyen de laquelle on puisse déterminer la force élastique de la vapeur aqueuse qui correspond à une température donnée.

On a proposé un grand nombre de formules différentes, pour exprimer la force élastique de la vapeur aqueuse, en fonction de la température. Quelques-unes de ces formules ont été données comme de simples formules d'interpolation; d'autres ont été présentées avec de plus grandes prétentions et comme exprimant réellement la loi physique du phénomène.

De Prony a proposé le premier une expression de la forme

$$e = a\,\alpha^t + b\,\beta^t + c\gamma^t + d\delta^t;$$

et il a donné une méthode générale pour calculer, au moyen des observations, les valeurs des coefficients a, b, c, d, et les bases des exponentielles α, β, γ, δ (*Journal de l'École Polytechnique*, 2e cahier, page 1).

Le docteur Young a proposé la formule

$$e = (a + bt)^m,$$

qui a été adoptée par plusieurs physiciens.

MM. Dulong et Arago ont admis une expression de la même forme. La formule

$$e = (1 + 0,7153\,t)^5,$$

calculée par ces illustres physiciens, ne renferme qu'une constante qui a été obtenue au moyen d'une seule de leurs observations, celle qui a été faite sous la plus forte pression.

Roche a proposé la formule

$$e = a\,\alpha^{\frac{t}{m + nt}},$$

qu'il donne, non pas comme une simple formule d'interpolation, mais comme l'expression mathématique du phénomène. La même formule a été reproduite depuis par plusieurs physiciens, notamment par M. August (*Annales*

de Poggendorff, tomes XIII et LVIII) [1]; elle représente assez bien mes observations entre les limites qui ont servi à calculer les constantes; j'ai eu occasion de m'en assurer en calculant les trois constantes au moyen des tensions à 0, à 50 et à 100 degrés, mais il est facile de voir qu'elle n'exprime pas la loi mathématique du phénomène, et qu'elle ne doit être considérée que comme une formule d'interpolation; la fonction est discontinue et représente une courbe à deux branches. Dans le cas de $\alpha > 1$, l'une des ces branches, qui doit représenter les tensions observées, a un point d'arrêt pour $t = -\frac{m}{n}$, $e = 0$; la courbe est alors tangente à l'axe des t: à partir de ce point vers les t positifs, la courbe tourne sa convexité vers l'axe des t, elle présente un point d'inflexion pour $t = \frac{m(\log\alpha - 2n)}{2n^2}$, enfin, elle est asymptote à la droite $e = a\alpha^{\frac{1}{n}}$, parallèle à l'axe des t. L'autre branche est asymptote à la même droite $e = a\alpha^{\frac{1}{n}}$, et à la droite $t = -\frac{m}{n}$, parallèle à l'axe des e.

Enfin, M. Biot a donné (*Comptes rendus de l'Académie*, t. XII, p. 150) un nouveau mode d'interpolation qu'il a appliqué à la formation d'une Table des forces élastiques de la vapeur aqueuse, entre — 20 et 220 degrés, en s'appuyant sur les expériences de M. Gay-Lussac, pour les températures inférieures à 100 degrés, et sur les expériences de MM. Dulong et Arago, pour les températures supérieures. La formule adoptée par M. Biot est analogue à celle de Prony; seulement M. Biot égale la somme des exponentielles au logarithme de la force élastique, et non à la force élastique elle-même : il a reconnu que l'on pouvait se borner à trois termes, et même supposer la base de l'une des exponentielles égale à 1; de sorte qu'il adopte la formule suivante :

$$\log e = a + b\alpha^t + c6^t.$$

[1] La même formule a été adoptée par M. Magnus dans le travail que j'ai cité (note de la page 294).

Les cinq constantes qui entrent dans cette expression sont déterminées par cinq observations convenablement espacées dans l'échelle des températures. J'ai adopté le mode d'interpolation de M. Biot, qui me paraît devoir s'appliquer avec avantage à un grand nombre de phénomènes physiques, et en particulier aux relations qui existent entre les forces élastiques des vapeurs et les températures.

Je ne me propose pas pour le moment de calculer une formule qui représente le phénomène dans toute son étendue; les observations que j'ai faites dans les hautes pressions ne sont pas suffisamment complètes, elles doivent être poussées beaucoup plus loin : ces observations présentent, d'ailleurs, des difficultés particulières, que j'indiquerai bientôt, et qui m'empêchent de les regarder comme définitives. Je ne m'occuperai d'abord que des forces élastiques de la vapeur aqueuse, entre 0 et 100 degrés.

Je détermine les cinq constantes qui entrent dans la formule

$$\log e = a + b\alpha_1^t + c\beta_1^t$$

au moyen des forces élastiques qui correspondent aux températures 0, 25, 50, 75 et 100 degrés; soient A, B, C, D, E leurs logarithmes. Posons de plus

$$(\alpha_1)^{25} = \alpha, \qquad \alpha_1 = \sqrt[25]{\alpha},$$

d'où

$$(\beta_1)^{25} = \beta, \qquad \beta_1 = \sqrt[25]{\beta}.$$

Nous avons alors les cinq équations de condition :

$$(1) \quad A = a + b + c,$$
$$(2) \quad B = a + b\alpha + c\beta,$$
$$(3) \quad C = a + b\alpha^2 + c\beta^2,$$
$$(4) \quad D = a + b\alpha^3 + c\beta^3,$$
$$(5) \quad E = a + b\alpha^4 + c\beta^4.$$

Des équations (1), (2), (3) on tire :

$$a = \frac{[A\alpha\beta - (\alpha+\beta)B + C](\alpha-\beta)}{(\alpha-1)(\beta-1)(\alpha-\beta)},$$

$$b = \frac{[A\beta - (1+\beta)B + C](\beta-1)}{(\alpha-1)(\beta-1)(\alpha-\beta)},$$

$$c = \frac{[-A\alpha + (1+\alpha)B - C](\alpha-1)}{(\alpha-1)(\beta-1)(\alpha-\beta)}.$$

Si l'on substitue ces valeurs dans les équations (4) et (5), on obtient deux équations qui ne renferment que α et β.

Retranchons l'équation (2) de l'équation (4), il vient :

$$D - B = b\alpha(\alpha^2 - 1) + c\beta(\beta^2 - 1);$$

substituant pour b et c leurs valeurs, et réduisant,

(6) $$D - B = A\alpha\beta - B(\alpha + 1)(\beta + 1) + C(\alpha + \beta + 1),$$

ou

(7) $$D - C = (A - B)\alpha\beta - (B - C)(\alpha + \beta).$$

Retranchons l'équation (3) de l'équation (5), il vient:

$$E - C = b\alpha^2(\alpha^2 - 1) + c\beta^2(\beta^2 - 1);$$

substituant pour b et c leurs valeurs, et réduisant,

$$(\alpha+\beta)[A\alpha\beta - B(\alpha+1)(\beta+1) + C(\alpha+\beta+1)] + A\alpha\beta - C\alpha\beta = E - C,$$

ou, en vertu de l'équation (6),

(8) $$(\alpha + \beta)(D - B) + (A - C)\alpha\beta = E - C.$$

Des équations (6) et (8), on tire:

$$\alpha + \beta = \frac{(D-C)(A-C) - (E-C)(A-B)}{(A-C)(C-B) - (A-B)(A-C)},$$

$$\alpha\beta = \frac{(E-C)(C-B) - (A-C)(D-C)}{(A-C)(C-B) - (A-B)(A-C)},$$

d'où l'on déduit α et β, par suite α_1 et β_1.

Les valeurs des coefficients a, b, c, se calculeront ensuite par les formules :

$$b = \frac{A\beta - (1 + \beta)B + C}{(\alpha - \beta)(\alpha - 1)},$$

$$c = \frac{-A\alpha + (1 + \alpha)B - C}{(\alpha - \beta)(\beta - 1)},$$

$$a = A - b - c.$$

On trouvera dans les tableaux qui précèdent, un grand nombre de déterminations de la tension de la vapeur aqueuse à o degré ; mais on ne rencontre pas dans ces déterminations un accord aussi parfait que je l'aurais désiré. On voit que les

nombres obtenus dans une même série ne diffèrent que très-peu ; ainsi les erreurs d'observations sont extrêmement petites. Les différences ne sont un peu sensibles que quand on compare une série d'expériences à une autre ; et en général, quand une différence se manifeste pour o degré, elle se maintient sensiblement constante dans les températures plus élevées ; ces différences tiennent donc à des erreurs constantes que j'ai cherché vainement à faire disparaître. J'ai adopté dans le calcul de la formule le nombre $4^{mm},60$ pour la tension à o degré ; il est la moyenne entre les observations extrêmes 4,52 et 4,68.

Les tensions correspondant aux températures 25, 50 et 75 degrés, ont été obtenues en construisant graphiquement sur une grande échelle la courbe des tensions, d'après les résultats des expériences, et rectifiant la valeur numérique de l'ordonnée prise sur la courbe, par une petite interpolation faite sur les points circonvoisins, donnés immédiatement par les observations. Cette interpolation n'a pas changé sensiblement les valeurs des ordonnées correspondant à $t = 25$ degrés et $t = 50$ degrés. La courbe graphique a donné, pour $t = 75$ degrés, $e = 288^{mm},8$; l'interpolation a réduit cette valeur à $288^{mm},50$.

En partant des données,

$$\begin{array}{ll} t = 0^{\circ}, & e = \overset{mm}{4,60}, \\ t = 25, & e = 23,55, \\ t = 50, & e = 91,98, \\ t = 75, & e = 288,50, \\ t = 100, & e = 760,00, \end{array}$$

on trouve :

$$\text{(A)} \quad \left\{ \begin{array}{lcl} \log \alpha_1 & = & 0,006865036, \\ \log 6_1 & = & \bar{1},9967249, \\ \log b & = & \bar{2},1340339, \\ \log c & = & 0,6116485, \\ a & = & +\ 4,7384380. \end{array} \right.$$

On peut voir dans les tableaux l'accord qui existe entre

les résultats déduits de cette formule et ceux donnés par l'observation directe.

J'ai cherché à appliquer la même formule aux températures inférieures à 0 degré, mais j'ai trouvé que les forces élastiques que l'on en déduit sont constamment supérieures à celles que donne l'observation. La différence est très-petite pour les premiers degrés négatifs de l'échelle, mais elle s'élève jusqu'à $0^{mm},25$ vers — 25 degrés; de sorte que la courbe donnée par la formule s'élève à partir du 0 degré, et s'éloigne successivement de la courbe observée pour les températures inférieures à 0 degré.

La même formule ne doit donc pas être employée pour les températures très-inférieures à 0 degré. J'ai calculé pour celles-ci une petite formule d'interpolation,

$$\text{(B)} \qquad e = a + b\alpha^x,$$

dans laquelle $x = t - 32$ degrés.

Les trois constantes ont été déterminées par les trois valeurs suivantes :

$$t = -32, \quad x = 0, \quad e = 0^{mm},31;$$
$$t = -16, \quad x = 16, \quad e = 1,18;$$
$$t = 0, \quad x = 32, \quad e = 4,60.$$

On a obtenu ainsi :

$$\text{(B)} \quad \left\{ \begin{array}{lcl} \log b & = & \bar{1},4724984, \\ \log \alpha & = & 0,0371566, \\ a & = & +\ 0,0131765. \end{array} \right.$$

Les températures ont été mesurées dans toutes mes expériences sur le thermomètre à mercure, qui présente sur le thermomètre à air l'avantage d'une lecture beaucoup plus prompte et plus précise; mais au delà de 100 degrés, les indications des thermomètres à mercure deviennent incertaines, elles varient pour la même température suivant la nature du verre qui forme le réservoir, et probablement suivant la

manière dont le réservoir a été soufflé. Les quatre thermomètres qui ont servi dans mes expériences au-dessus de 100 degrés ont été construits avec des tubes de cristal provenant d'une même fonte, les réservoirs ont été soufflés sur les tiges par le même artiste, et néanmoins ces thermomètres ne présentent pas dans leur marche un accord aussi complet qu'on était en droit de l'attendre, d'après les soins extrêmes que l'on avait mis dans la division et dans la vérification de leurs échelles. On éviterait cet inconvénient en observant les températures supérieures à 100 degrés directement sur le thermomètre à air; mais pour que ce dernier instrument soit susceptible d'une certaine précision, il faut qu'il ait des dimensions considérables, afin que les tubes, dans lesquels on mesure les changements de force élastique de l'air, puissent avoir un diamètre assez grand pour ne pas présenter de variation sensible dans la capillarité. Or, un instrument de cette nature ne pouvait pas être disposé dans mes appareils. J'ai préféré observer directement les températures sur les thermomètres à mercure et comparer ensuite ces mêmes thermomètres avec un thermomètre à air convenablement construit, en les plaçant dans des circonstances semblables à celles dans lesquelles ces instruments se trouvaient dans ma cornue. J'ai déjà tenté plusieurs essais pour faire cette comparaison, mais les résultats ne m'ont pas paru satisfaisants; je me propose de faire de nouvelles expériences que je publierai avec le complément de mes observations sur la force élastique de la vapeur aqueuse dans les hautes températures.

En attendant, j'ai cru convenable de relier les observations faites jusqu'ici dans les hautes températures par une formule d'interpolation provisoire qui permît d'étudier facilement leur marche. J'ai adopté simplement la formule à deux termes

$$\log e = a + b\alpha^x.$$

Les trois constantes de cette formule ont été calculées par

les valeurs suivantes :

$$t = 100^{\circ},\quad e = 760^{mm},0;$$
$$t = 123,\quad e = 1621^{mm},0;$$
$$t = 146,\quad e = 3177^{mm},0;$$

qui ont été prises sur la courbe graphique construite avec les observations de la série *R*.

On a trouvé ainsi

$$(C)\quad \begin{cases} \log \alpha = \bar{1},9977641, \\ \log b = 0,4692291, \\ a = +5,8267890. \end{cases}$$

La formule est

$$(C)\qquad \log e = a - b\alpha^{x},\qquad x = t - 100^{\circ}.$$

On peut voir dans les tableaux que cette formule représente assez bien les observations ; la plus grande différence s'élève à $13^{mm},2$; elle correspond à une erreur sur l'évaluation de la température de $0^{\circ},15$.

Les expériences que j'ai publiées dans ce Mémoire se trouvent donc représentées par trois formules d'interpolation partielles qui ont eu principalement pour but l'étude de la marche des observations. Lorsque je serai parvenu à compléter mes expériences dans les hautes températures, et à faire la comparaison des thermomètres à mercure, employés dans ces expériences, avec le thermomètre à air, je me propose de rechercher s'il est possible de représenter les observations dans toute leur étendue par une formule unique.

On trouvera, à la fin de ce Mémoire, la Table des forces élastiques de la vapeur aqueuse calculées au moyen des formules A et B pour tous les degrés de température compris entre — 32 et 100 degrés.

On peut obtenir des déterminations très-précises de la force élastique de la vapeur aqueuse pour les températures peu inférieures à 100 degrés, en observant la température de l'ébullition de l'eau à différentes stations, en s'élevant sur une haute montagne. MM. Bravais et Peltier ont

bien voulu, à ma demande, faire quelques observations de cette espèce, dans une ascension qu'ils ont faite au Faulhorn pendant l'été de 1842. La Note qui renferme le détail de ces expériences est publiée dans les *Comptes rendus de l'Académie*, tome XVIII, page 572.

Les nombres obtenus par MM. Bravais et Peltier présentent des différences assez grandes avec ceux qui se déduisent de mes observations. Il est à remarquer que le thermomètre employé par ces physiciens a présenté des irrégularités très-grandes dans la position du zéro; des irrégularités semblables se sont nécessairement manifestées dans les points d'ébullition.

Une autre série d'expériences a été faite au mois de décembre 1843, par M. Marié, professeur de physique au collége de Saint-Étienne, dans une ascension au mont Pila. Les détails de ces expériences sont publiés dans les *Comptes rendus de l'Académie*, tome XVIII, page 252.

Je me bornerai à transcrire ici les résultats, et je mettrai en regard les forces élastiques calculées pour les mêmes températures au moyen de ma formule :

TEMPÉRATURE de l'ébullition.	FORCE ÉLASTIQUE observée.	FORCE ÉLASTIQUE calculée.	DIFFÉRENCE.
	mm	mm	mm
99°87	756,69	756,59	+ 0,10
99,40	745,06	743,94	+ 1,12
98,61	723,52	723,06	+ 0,46
98,36	716,45	716,56	— 0,11
97,70	700,30	699,63	+ 0,67
96,80	679,63	677,07	+ 2,56
96,38	666,94	666,75	+ 0,19
95,95	655,79	656,33	— 0,54
95,49	645,99	645,33	+ 0,66

On voit que les observations de M. Marié s'accordent avec la formule aussi bien qu'on peut le désirer.

Table des forces élastiques de la vapeur aqueuse de — 32 à 100 degrés.

TEMPÉRATURES en degrés centigrades.	FORCES ÉLASTIQUES en millimètres de mercure.	DIFFÉRENCE.
— 32°	mm 0,310	mm 0,026
31	0,336	0,029
30	0,365	0,032
29	0,397	0,034
28	0,431	0,037
27	0,468	0,041
26	0,509	0,044
25	0,553	0,049
24	0,602	0,052
23	0,654	0,057
22	0,711	0,063
21	0,774	0,067
20	0,841	0,075
19	0,916	0,080
18	0,996	0,088
17	1,084	0,095
16	1,179	0,105
15	1,284	0,114
14	1,398	0,123
13	1,521	0,135
12	1,656	0,147
11	1,803	0,160
10	1,963	0,174
9	2,137	0,190
8	2,327	0,206
7	2,533	0,225
6	2,758	0,246
5	3,004	0,267
4	3,271	0,282
3	3,553	0,326
2	3,879	0,345
1	4,224	

Table des forces élastiques de la vapeur aqueuse de 0 *à* 100 *degrés.*

TEMPÉRATURES	FORCES élastiques.	DIFFÉRENCE.	TEMPÉRATURES	FORCES élastiques	DIFFÉRENCE.
	mm	mm		mm	mm
0°	4,600	0,340	31°	33,406	1,953
1	4,940	0,362	32	35,359	2,052
2	5,302	0,385	33	37,411	2,154
3	5,687	0,410	34	39,565	2,262
4	6,097	0,437	35	41,827	2,374
5	6,534	0,464	36	44,201	2,490
6	6,998	0,494	37	46,691	2,611
7	7,492	0,525	38	49,302	2,737
8	8,017	0,557	39	52,039	2,867
9	8,574	0,591	40	54,906	3,004
10	9,165	0,627	41	57,910	3,145
11	9,792	0,665	42	61,055	3,291
12	10,457	0,705	43	64,346	3,444
13	11,162	0,746	44	67,790	3,601
14	11,908	0,791	45	71,391	3,767
15	12,699	0,837	46	75,158	3,935
16	13,536	0,885	47	79,093	4,111
17	14,421	0,936	48	83,204	4,295
18	15,357	0,989	49	87,499	4,483
19	16,346	1,045	50	91,982	4,679
20	17,391	1,104	51	196,661	4,882
21	18,495	1,164	52	101,543	5,093
22	19,659	1,229	53	106,636	5,309
23	20,888	1,296	54	111,945	5,533
24	22,184	1,366	55	117,478	5,766
25	23,550	1,438	56	123,244	6,007
26	24,988	1,517	57	129,251	6,254
27	26,505	1,596	58	135,505	6,510
28	28,101	1,681	59	142,015	6,776
29	29,782	1,766	60	148,791	7,048
30	31,548	1,858	61	155,839	7,331
31	33,406		62	163,170	

Suite de la Table des forces élastiques de la vapeur aqueuse de 0 à 100 degrés.

TEMPÉRATURES	FORCES élastiques.	DIFFÉRENCE.	TEMPÉRATURES	FORCES élastiques.	DIFFÉRENCE.
	mm	mm		mm	mm
62°	163,170	7,621	81°	369,287	15,148
63	170,791	7,923	82	384,435	15,666
64	178,714	8,231	83	400,101	16,197
65	186,945	8,551	84	416,298	16,743
66	195,496	8,880	85	433,041	17,303
67	204,376	9,220	86	450,344	17,877
68	213,596	9,569	87	468,221	18,466
69	223,165	9,928	88	486,687	19,072
70	233,093	10,300	89	505,759	19,691
71	243,393	10,680	90	525,450	20,328
72	254,073	11,074	91	545,778	20,979
73	265,147	11,477	92	566,757	21,649
74	276,624	11,893	93	588,406	22,334
75	288,517	12,321	94	610,740	23,038
76	300,838	12,762	95	633,778	23,757
77	313,600	13,211	96	657,535	24,494
78	326,811	13,677	97	682,029	25,251
79	340,488	14,155	98	707,280	26,025
80	354,643	14,644	99	733,305	26,695
81	369,287		100	760,000	

RECHERCHES SUR LES COMBINAISONS OXYGÉNÉES DE L'OR, LE POURPRE DE CASSIUS ET L'OR FULMINANT;

PAR M. L. FIGUIER.

(Mémoire lu à l'Académie des Sciences le 29 avril 1844.)

De tous les métaux usuels, l'or est assurément le moins connu dans ses combinaisons chimiques. Malgré de nombreux travaux appartenant aux époques les plus diverses de la science, l'histoire de ce métal reste encore enveloppée dans son ensemble d'un vague et d'une obscurité qui depuis longtemps ont frappé les chimistes.

Sous le nom d'oxyde d'or noir, d'oxyde d'or par la magnésie, par la potasse, par l'étain, on réunit divers composés dont l'identité est loin d'être reconnue. Plusieurs chimistes admettent avec M. Berzelius l'existence probable d'un bioxyde d'or de couleur pourpre. La composition véritable du pourpre de Cassius, de l'or fulminant, la théorie des phénomènes qui se produisent dans la nouvelle industrie de la dorure, représentent enfin autant de questions très-imparfaitement et très-diversement résolues aujourd'hui.

Les faits nouveaux que j'ai observés dans le cours de ce travail pourront, je l'espère, dissiper une partie de cette obscurité, et fournir à l'ensemble des combinaisons de l'or, l'enchaînement et la régularité qui leur ont manqué jusqu'ici.

Je commencerai par exposer le résultat de mes recherches sur le protoxyde d'or et le pourpre de Cassius.

Protoxyde d'or.

Le protoxyde d'or n'a été étudié que par M. Berzelius qui l'a obtenu seulement en décomposant par la potasse le protochlorure d'or. Je suis arrivé, à l'égard de ce composé, à des résultats très-différents de ceux de M. Berzelius, et si mes expériences sont exactes, les caractères et les propriétés que cet illustre chimiste attribue au protoxyde d'or ne pourront aucunement lui être conservées.

M. Berzelius dit, en effet, dans son *Traité de Chimie:* «On » obtient le protoxyde d'or en versant à froid une dissolu» tion de potasse caustique sur du protochlorure d'or. Cet » oxyde est en partie dissous par la lessive, mais il ne s'y » conserve pas longtemps, et commence bientôt à se dé» composer en donnant de l'oxyde aurique et de l'or métal» lique. »

On reconnaîtra, par ce qui va suivre, que ces caractères n'appartiennent point au protoxyde d'or. Je montrerai ensuite que la différence de nos résultats tient sans doute à ce que M. Berzelius n'a point obtenu dans ses expériences le protoxyde pur, mais bien un mélange de ce corps avec beaucoup d'or métallique.

Le protoxyde d'or est, en effet, une poudre d'un violet si foncé à l'état d'hydrate, qu'elle semble noire; desséché, il offre la couleur bleu-violet du pourpre de Cassius. Il ne se décompose qu'à 250 degrés en donnant de l'oxygène. Il est insoluble dans l'eau; l'alcool ne le dissout et ne le décompose aucunement. L'acide chlorhydrique, mis en contact avec lui, le transforme en or métallique qui se sépare, et en trichlorure d'or qui se dissout. La réaction, qui est instantanée à l'ébullition, n'est complète à froid qu'au bout d'un quart d'heure. Dans cette circonstance, il se fait d'abord du protochlorure d'or qui, lui-même, se décompose ensuite en donnant sa réaction ordinaire au contact de l'eau,

$$3 (Au^2 Cl) = Au^2 Cl^3 + Au^4.$$

L'acide iodhydrique, mis en contact avec le protoxyde d'or, se colore fortement en jaune et dépose du protoiodure d'or de couleur verdâtre. La liqueur surnageante est une dissolution de protoiodure d'or dans l'acide iodhydrique. Si on fait bouillir le tout, l'iode se dégage sous forme de vapeurs violettes, et l'or se précipite. Il ne se produit donc pas dans cette circonstance de periodure d'or correspondant au perchlorure (1).

(1) L'action de l'acide iodhydrique sur le protoxyde d'or permettra de

L'acide bromhydrique se comporte comme l'acide iodhydrique. Il donne à froid un dépôt brun de bromure en se colorant fortement. Si on fait bouillir, la liqueur s'éclaircit complétement.

L'eau régale dissout à froid le protoxyde d'or.

Les acides sulfurique, nitrique, acétique, sont sans action sur lui; la potasse et la soude ne le dissolvent, comme on le verra, qu'à l'état naissant.

L'ammoniaque fournit avec lui un composé violet et fulminant. Il suffit de le frotter avec un corps dur pour le faire détoner. Mais la détonation est moins vive que celle de l'or fulminant obtenu par le tritoxyde d'or.

Le gaz hydrogène le réduit aisément à chaud, mais sans aucun phénomène sensible.

Le protoxyde d'or doit être rangé parmi les composés chimiques indifférents : il peut s'unir en effet aux acides ou aux bases. Ainsi, tandis que la potasse le dissout à l'état naissant (par exemple dans le traitement du protochlorure d'or par la potasse), nous verrons, d'un autre côté, que l'acide stannique peut aisément se combiner avec lui.

Il ne faut point attribuer au protoxyde d'or l'altérabilité extraordinaire que M. Berzelius a cru lui reconnaître. Il est, en effet, beaucoup moins altérable que le tritoxyde d'or, circonstance d'ailleurs assez naturelle, puisque les premiers degrés d'oxydation d'un métal présentent en général plus de stabilité que les oxydes supérieurs. Ainsi le protoxyde d'or ne se décompose par la chaleur qu'à 250 degrés, et le tritoxyde à 245. La lumière directe qui réduit au bout de quelque temps le tritoxyde d'or est sans action sur le protoxyde. Mais surtout un grand nombre d'agents chimiques qui réduisent facilement le tritoxyde d'or, restent entièrement sans action sur le protoxyde. Tels sont, par exemple, l'alcool, l'acide acétique, l'acide tartrique.

---

préparer avec beaucoup d'avantage le protoiodure d'or, composé d'un assez grand usage en médecine, et dont la préparation est regardée avec raison comme très difficile par les moyens usités aujourd'hui.

Avant de quitter ce qui concerne les propriétés du protoxyde d'or, je dirai un mot d'un phénomène de solubilité apparente qu'il produit avec l'eau distillée.

Quand le protoxyde d'or a été desséché, il est complétement insoluble dans l'eau; mais si au moment de sa préparation on le met en contact avec l'eau distillée, il produit alors ce que l'on nomme une dissolution apparente. Ainsi, quand on essaye de laver sur le filtre le protoxyde d'or, obtenu par le protochlorure d'or et la potasse, on remarque qu'une petite partie du produit est enlevée par l'eau des lavages, qui s'écoule fortement colorée en bleu-violet. Cette liqueur, quand elle est peu chargée, offre la couleur affaiblie de la teinture de tournesol; quand elle est plus concentrée, elle paraît noire. Cette dissolution reste limpide pendant deux ou trois jours; mais au bout de ce temps, l'oxyde s'est entièrement précipité et occupe le fond du vase sous la forme d'un nuage bleu. L'addition d'un sel soluble dans cette liqueur chauffée détermine la séparation instantanée de l'oxyde, quelques gouttes d'acide chlorhydrique l'éclaircissent aussitôt.

Il faut ajouter que ce phénomène ne s'est pas toujours présenté, et que dans plusieurs circonstances, sans que j'aie pu en reconnaître la cause, l'eau de lavages n'a dissous aucune trace de protoxyde d'or. Quoi qu'il en soit, ce mode curieux de dissolution est probablement du même ordre que celles que nous présentent le bleu de Prusse, quelques oxydes métalliques, le pourpre de Cassius, l'iodure d'amidon, et peut-être l'amidon lui-même.

Voici les circonstances principales dans lesquelles j'ai vu se former le protoxyde d'or. Je ne doute pas que l'expérience ultérieure des chimistes n'augmente la liste de ces faits.

1°. Si l'on verse dans une dissolution de chlorure d'or étendue d'eau et privée d'acide par l'évaporation à siccité, une dissolution de protonitrate de mercure, il se fait un précipité violet foncé de protoxyde d'or. La réaction qui se

produit est représentée par cette formule,

$$Au^2 Cl^2 + 2(HgO) + H^2 O^2 = Cl^2 H^2 + 2(Hg O^2) + Au^2 O.$$

Quelquefois le précipité ne se sépare point, et l'oxyde reste dissous, ou plutôt constituant une de ces dissolutions apparentes qu'il affecte souvent. En portant le liquide à l'ébullition, le précipité se sépare immédiatement.

Il est essentiel, dans cette opération, de ne pas ajouter un excès de sel mercuriel; car il se produirait du mercure doux, à cause de la présence de l'acide chlorhydrique qui accompagne la réaction. Il suffit pour cela de ne pas opérer la précipitation complète de l'or, et de s'arrêter lorsque la liqueur est encore légèrement colorée en jaune par du chlorure d'or non décomposé.

2°. La décomposition du protochlorure d'or par la potasse est un bon moyen de se procurer du protoxyde d'or; mais il y a des précautions indispensables à observer pour obtenir le produit pur.

On évapore à siccité une dissolution de chlorure d'or et l'on chauffe le résidu sur un bain de sable dont un thermomètre indique la température. On agite continuellement la masse jusqu'à ce qu'elle ait pris une teinte jaune-serin très-vive, *sans dépasser la température de* 150 *degrés*. A une température plus élevée, le protochlorure abandonnerait la plus grande partie de son chlore.

Si l'on verse alors de la potasse caustique sur le mélange, il se sépare un précipité noir-violet de protoxyde d'or, et la liqueur se colore fortement en jaune par la dissolution d'une partie de l'oxyde dans l'alcali. On filtre, et l'acide nitrique, ajouté de manière à saturer très-exactement la potasse, précipite le reste de l'oxyde sous la forme d'un hydrate gélatineux d'un violet foncé. Il ne faudrait point ajouter un excès d'acide, car l'eau régale qui se formerait ainsi dissoudrait le produit. Il faut plutôt conserver au liquide une réaction légèrement alcaline. On réunit les produits de ces deux traitements sur le même filtre.

3°. Si l'on fait bouillir de l'acide acétique concentré avec

du tritoxyde d'or obtenu en décomposant l'aurate de potasse par l'acide nitrique, le liquide filtré est fortement coloré en jaune, et en l'évaporant à presque siccité, on détermine la séparation d'une assez grande quantité de protoxyde d'or.

4°. Le tritoxyde d'or (acide aurique), récemment obtenu à l'aide de l'aurate de magnésie ou de baryte, étant délayé dans une lessive de potasse ou de soude caustique, s'y dissout bientôt en donnant un liquide coloré en jaune d'or. Mais si l'on essaye d'évaporer cette dissolution, il se précipite toujours du protoxyde d'or, quel que soit le moyen de concentration employé. L'évaporation à l'abri ou au contact de l'air à une température très-ménagée, l'emploi du vide et même l'évaporation spontanée, ne permettent point d'éviter cette décomposition.

Mais elle est surtout active à la température de l'ébullition. Le liquide se trouble promptement et dépose un précipité verdâtre, probablement de tritoxyde d'or, remplacé bientôt par un abondant dépôt violet de protoxyde d'or. Cette réaction se prolonge d'une manière singulière, et j'ai vu souvent des liqueurs qui ne contenaient pas plus de 20 grammes d'oxyde d'or, continuer de se troubler et de déposer par l'ébullition du protoxyde d'or, après avoir bouilli pendant près de deux jours (1).

(1) Pelletier, dans son Mémoire sur l'oxyde d'or, a déjà signalé ce dépôt noir-violet qui se forme toujours quand on évapore la dissolution de l'aurate de potasse. Mais, ayant regardé ce précipité comme du tritoxyde d'or ordinaire déshydraté, il ne poussa pas plus loin ses recherches. L'analyse m'a montré que c'était du protoxyde d'or. D'après cela, comment interpréter cette réaction curieuse?

J'admets qu'il se produit, dans ce cas, un nouvel acide oxygéné de l'or, le plus oxygéné de cette série. J'ai constaté, en effet, qu'il ne se dégage aucune trace de gaz oxygène dans la réaction; et, comme la potasse caustique fondue, dont j'ai fait usage avec intention dans ces expériences, ne peut être soupçonnée contenir une matière organique qui ramènerait le tritoxyde d'or à l'état de protoxyde, je regarde comme très-problable que le tritoxyde d'or se dédouble, dans cette circonstance, en protoxyde d'or et en un nouvel acide plus oxygéné que le tritoxyde.

Voici, en effet, ce que l'on observe quand on vient à saturer, par l'acide nitrique ou sulfurique, les liqueurs qui ont subi un traitement semblable.

7°. L'acétate, le citrate, le tartrate de potasse, en présence d'un excès de potasse libre, forment avec le chlorure d'or, dans les mêmes circonstances, du protoxyde d'or.

Les faits précédents semblent établir assez nettement l'action des sels organiques sur le chlorure d'or. Quand on fait réagir ces derniers sur le chlorure d'or en présence d'un alcali, il se fait du protoxyde d'or; car le précipité, traité par l'acide chlorhydrique, fournit un dépôt d'or et une dissolution de trichlorure aurique. Mais si les sels organiques sont neutres ou acides, c'est l'or métallique qui prend naissance. On peut se convaincre de ce fait par une expérience très-simple. En faisant bouillir du chlorure d'or avec une solution d'acide tartrique ou de tartrate neutre de potasse, il se forme un précipité d'or présentant l'éclat métallique et l'aspect ocracé tout à la fois. Mais si l'on filtre la liqueur qui contient encore du chlorure d'or non décomposé, et que l'on ajoute de la potasse en excès, il se fait aussitôt un précipité noir-violet de protoxyde.

Il ne faut pas toutefois généraliser ce fait à toutes les matières organiques neutres; car l'alcool et le sucre, par exemple, ne donnent que de l'or métallique sous l'influence du chlorure d'or neutre et acide, ou sous l'influence d'une base alcaline libre. L'acide chlorhydrique, dans ce cas, n'enlève aucune trace d'or au précipité.

Analyse. — Comme j'étais loin de m'attendre à trouver dans le précipité noir-violet qui se forme dans les différentes réactions qui viennent d'être rapportées, le protoxyde d'or lui-même, dont les expériences de M. Berzelius me donnaient une idée si différente, je dus apporter à l'analyse

---

d'argent au bain d'or est sans doute du chlorure double d'argent et de potassium : sel très-aisément réductible par le cuivre, même dans une dissolution alcaline.

Qu'il me soit permis, en terminant cette note trop courte sur une industrie si digne de l'intérêt qu'elle a provoqué, de remercier M. de Ruolz de la généreuse obligeance avec laquelle il m'a ouvert ses beaux ateliers et permis de suivre expérimentalement les différentes phases de ces opérations curieuses.

de ce produit une attention toute particulière. En essayant divers moyens d'analyse, tels que la réduction par l'hydrogène, la décomposition par l'acide chlorhydrique, je reconnus que la simple action de la chaleur sur cet oxyde présentait le moyen d'analyse à la fois le plus rigoureux et le plus facile. En effet, en essayant d'avance la valeur de ce procédé d'analyse sur le tritoxyde d'or ordinaire, j'ai obtenu à plusieurs reprises le nombre indiqué par la théorie avec la première décimale, ce qui justifie de plus l'exactitude du poids atomique de l'or déterminé par M. Berzelius. Voici donc par quel moyen fort simple j'ai procédé à l'analyse de ce produit.

Une quantité indéterminée d'oxyde, mais équivalant à peu près à 1 gramme, était placée dans un tube de verre très-étroit, soufflé en boule à son extrémité. On tenait compte, par le calcul, de la petite quantité d'air contenue dans le tube, et comme sa capacité ne dépassait jamais 4 centimètres cubes, on voit que l'erreur résultant de l'incertitude de la température disparaît entièrement à cause de la petitesse du volume d'air. L'oxygène était recueilli sur l'eau, et le métal pesé après la calcination.

Voici le résultat de 4 analyses du protoxyde d'or desséché dans le vide : Les deux premières ont été effectuées sur le protoxyde obtenu avec le nitrate de mercure ; la troisième a porté sur le protoxyde obtenu à l'aide du chlorure d'or et de la potasse caustique ; la quatrième sur le même corps préparé avec le tritoxyde d'or et la potasse. Dans ces deux derniers cas, l'or a été traité avant la pesée par de l'acide chlorhydrique ; car l'oxyde ainsi obtenu retient toujours un peu de sesquicarbonate alcalin que les lavages ne peuvent lui enlever.

Le volume de l'oxygène est exprimé ici, pour plus de simplicité, en le ramenant à 0 degré et 760 millimètres.

	Première analyse.	Deuxième analyse.	Troisième analyse.	Quatrième analyse.
Oxygène.	41 c. c.	32 c. c.	26 c. c.	16 c. c.
Or......	1gr,409	1gr,147	1gr,012	0gr,585

ce qui donne en centièmes :

Oxygène.	3,95	3,85	3,52	3,78
Or......	96,05	96,15	96,48	96,22
	100,00	100,00	100,00	100,00

La moyenne de ces analyses donne, pour le poids de l'or et de l'oxygène,

Or.........	96,23
Oxygène....	3,77
	100,00

Ces nombres correspondent à la formule Au^2O du protoxyde d'or ; on a, en effet :

		Calculé.	Trouvé.
1 équivalent d'or.	2486 ou	96,13	96,23
1 équivalent d'oxygène.	100	3,87	3,77
	2586	100,00	100,00

Je ne terminerai point ce qui concerne le protoxyde d'or sans indiquer la cause de la différence que présentent les résultats qui précèdent avec ceux obtenus par M. Berzelius, et sans montrer comment ce chimiste a pû être amené à décrire le protoxyde d'or comme une *poudre verte d'une altérabilité extrême*. La différence de nos résultats tient, je crois, à ce que M. Berzelius a opéré sur du protochlorure d'or obtenu à une température trop élevée, qui a déterminé la décomposition de la plus grande partie du protochlorure formé. Ce chimiste recommande en effet, pour préparer le protochlorure d'or, de chauffer le trichlorure à la température de l'étain fondant, qu'il fixe avec la plupart des expérimentateurs à 210 degrés ; or il est facile de se convaincre, par l'expérience, que le trichlorure d'or, chauffé seulement à 150 ou 160 degrés, se transforme complétement en protochlorure d'un jaune serin. Si l'on élève ensuite la température jusqu'à 210 degrés, ce protochlorure se décompose en très-grande partie, et l'on voit sa teinte jaune-serin s'affaiblir de plus en plus par son mélange avec la couleur ocreuse de l'or réduit. Quand on jette, en effet, cette poudre dans *l'eau froide*, on voit l'or réduit se précipiter au fond du vase, et le protochlorure non décom-

posé, rester en suspension dans l'eau avec sa teinte jaune. Au contraire, le protochlorure d'or, préparé à 150 ou 160 degrés, jeté dans l'eau froide, ne laisse point précipiter d'or, et ce n'est qu'au bout d'une demi-heure environ, que subissant la décomposition qui lui est particuliere, il commence à laisser précipiter de l'or.

J'ai exécuté d'ailleurs l'expérience en me plaçant dans les conditions que M. Berzelius indique, et l'on va voir que l'interprétation de son résultat ne peut laisser aucun doute dans l'esprit.

J'ai évaporé à peu près à siccité une dissolution de 15 grammes d'or dans l'eau régale. Le résidu a été chauffé au bain de sable, *sans dépasser la température de* 205 *degrés*, et en agitant sans cesse la poudre, jusqu'à ce que le dégagement de chlore devînt peu sensible. Il est resté une poudre d'un jaune terne, qui d'ailleurs déposait par l'eau froide beaucoup d'or métallique.

En délayant le protochlorure ainsi préparé dans une lessive de potasse caustique, et agitant le mélange avec une baguette, il s'est manifesté un précipité présentant une couleur que l'on pouvait désigner par le vert sombre. Mais en laissant le liquide deux minutes en repos, on reconnaissait aisément ce qui s'était produit. Le liquide présentait trois couches bien distinctes. La plus inférieure était de l'or métallique en paillettes; la seconde, du protoxyde d'or d'un noir violet; la couche surnageante était fortement colorée en jaune et consistait en protoxyde d'or dissous dans la potasse.

Il a été permis, en effet, d'obtenir par un artifice très-simple ces trois produits isolés, de manière à les examiner séparément. Ainsi, en jetant ce mélange sur un filtre, la dissolution alcaline jaune a été séparée; saturée par l'acide nitrique, elle a laissé déposer le protoxyde d'or qu'elle retenait. En ajoutant à plusieurs reprises de l'eau distillée froide sur le filtre, l'oxyde a subi la dissolution apparente qu'il présente souvent, et le liquide noir-violet, chargé de

protoxyde d'or, a laissé précipiter cet oxyde en le chauffant avec l'addition d'un peu de sel marin. Sur le filtre restait l'or métallique reconnaissable à sa couleur.

Cette expérience fait, je le crois, comprendre sans peine comment M. Berzelius a pensé que dans cette circonstance il se formait un oxyde d'or *éminemment altérable et de couleur verte*. En effet, la potasse ajoutée au protochlorure d'or obtenu dans les conditions dont il s'agit, donne un précipité noir-violet qui, mêlé par l'agitation à l'or métallique et à la dissolution jaune du protoxyde dans la potasse, offre, par le mélange de ces couleurs, une teinte qui peut affecter le vert sombre, et que l'on a pu croire particulière au protoxyde d'or lui-même. L'or métallique qui se précipite ensuite lorsque la liqueur est en repos, a pu être attribué à la décomposition de cet oxyde.

Il est presque inutile d'ajouter que le protoxyde d'or préparé par ce moyen, mais à une température convenable, étant abandonné à lui-même au sein du liquide, ne présente aucune espèce de réduction.

On me pardonnera d'avoir un peu longuement insisté sur cette explication. En présence d'une dissidence grave avec un chimiste de l'ordre de M. Berzelius, je tenais à montrer qu'en adoptant une opinion opposée à la sienne, je ne fais qu'obéir à l'évidence des faits.

Pourpre de Cassius.

Connu depuis le xv[e] siècle par les recherches de Basile Valentin, le pourpre de Cassius a été, de tous les composés de l'or, le plus fréquemment et le plus diversement étudié, et dans l'ensemble des combinaisons chimiques, il en est même peu qui aient excité davantage la curiosité des savants. Il suffira de rappeler entre autres, comme s'étant occupés de son étude, les noms de Cassius, de Glauber, d'Orschall, de Kunkell, du comte de Milly, et pour des temps plus rapprochés, ceux de Macquer, Proust, B. Pel-

letier, Vauquelin, Oberkampf, Berzelius, Gay-Lussac, Fuchs, Dumas, Buisson, Robiquet, etc.

Cependant, malgré les travaux d'un si grand nombre de chimistes, le pourpre de Cassius est encore, comme on le sait, un composé fort mal connu, en raison même du nombre considérable d'opinions contradictoires avancées tour à tour pour expliquer l'arrangement réel ou simplement la nature des éléments qu'il contient. Aussi, malgré le désir que j'aurais de donner une idée exacte des travaux ou des opinions des chimistes qui m'ont précédé sur cette question, je me vois forcé, pour ne pas donner à ce Mémoire une longueur déplacée, de résumer en un mot la question historique, en indiquant les sources où les personnes que ces renseignements intéressent pourront en trouver l'exposition détaillée.

Ainsi, je me bornerai à dire que le pourpre de Cassius a été considéré :

1°. Comme un mélange ou comme une combinaison véritable d'or et d'acide stannique, par Macquer (*Dictionnaire de Chimie*); Proust (*Journal de Physique*); B. Pelletier (*Mémoire de Chimie*, t. I, p. 399); Oberkampf (*Annales de Chimie*, t. LXXX); Marcadieu (*Annales de Chimie et de Physique*, t. XXXIV); Gay-Lussac (*Annales de Chimie et de Physique*, t. XLIX);

2°. Comme un mélange d'oxyde d'or, d'or métallique et de peroxyde d'étain, par Vauquelin (*Annales de Chimie*, t. LXXVII);

3°. Comme une combinaison de protoxyde d'étain et du bioxyde d'or hypothétique, et ensuite comme une combinaison de protoxyde d'or et d'un oxyde d'étain particulier $St^2 O^3$, par M. Berzelius (*Traité de Chimie*);

4°. Comme un mélange de sous-deutochlorure d'étain et d'or métallique, par M. Buisson (*Journal de Pharmacie*, tome XVI);

5°. Comme le stannate d'un oxyde d'or inconnu, par Robiquet (*Journal de Pharmacie*, ibid.);

6°. Comme un stannate double de bioxyde d'or et de protoxyde d'étain, par M. Dumas (*Traité de Chimie*);

7°. Comme un stannate double de protoxyde d'or et de protoxyde d'étain, par M. Fuchs (*Annales de Poggendorff*, 1833).

Il est difficile de dire quelle est celle de ces interprétations différentes qui se trouve aujourd'hui le plus généralement admise. L'opinion des chimistes doit nécessairement rester indécise en présence de tant de résultats contradictoires, impossibles à raisonnablement concilier. Les uns adoptent l'existence d'un oxyde d'or dans le pourpre; mais cette notion est assez vague, en raison de la nature différente de l'oxyde d'or admis par Berzelius, Vauquelin, Robiquet, M. Fuchs et M. Dumas. Le plus grand nombre, je crois, en est revenu à l'opinion de Macquer, appuyée de l'autorité de M. Gay-Lussac, et regarde le pourpre comme un mélange d'une nature particulière, d'or métallique et de peroxyde d'étain. M. Sarzeau a cru récemment devoir appuyer de preuves nouvelles cette opinion générale dans une Note publiée à l'occasion de quelques médailles d'or du Bas-Empire trouvées dans un terrain, et dans lesquelles ce chimiste a voulu reconnaître du pourpre de Cassius tout formé par l'action du temps (1).

---

(1) M. Gay-Lussac fonde son opinion sur l'expérience suivante exécutée par M. Marcadieu, et qu'il a lui-même répétée et variée avec soin:

Un alliage formé de 2 parties d'or, 3 $\frac{1}{2}$ d'étain et 15 d'argent traité par l'acide nitrique pour dissoudre l'argent, laisse un précipité de pourpre de Cassius. Comme l'acide nitrique n'a point d'action dissolvante sur l'or, M. Gay-Lussac conclut que le pourpre est un mélange très-intime d'or et d'acide stannique. Il appelle cet état particulier de mélange, une *adhérence intime sans diffusion*.

Cette expérience, qui a entraîné l'opinion de bien des chimistes, s'interprète cependant, sans aucune peine, dans un sens opposé, et n'exclut aucunement, à mon avis, la présence d'un oxyde d'or dans le pourpre.

Je ne vois, en effet, aucune difficulté à concevoir que l'acide nitrique qui n'oxyde point l'or puisse néanmoins l'oxyder en présence de l'acide stannique composé, qui a de l'affinité pour l'oxyde d'or qui tend ainsi à se produire. A chaque instant, en effet, on observe en chimie des phénomènes de cet ordre que les anciens appelaient *affinité de prédisposition;* la présence

Les résultats de mes expériences sur le pourpre de Cassius diffèrent notablement des interprétations qui précèdent.

Il ressort, en effet, de mes recherches, que le pourpre de Cassius est une combinaison parfaitement définie de protoxyde d'or et de peroxyde d'étain. La preuve la plus claire que l'on puisse invoquer ici résulte de ce fait, que le pourpre se forme directement quand on met en présence l'acide stannique et le protoxyde d'or. Il suffit, pour faire l'expérience, de faire bouillir du protoxyde d'or avec une dissolution de stannate de potasse obtenue en dissolvant dans la potasse l'acide stannique provenant de la réaction de l'acide nitrique sur l'étain. Le pourpre de Cassius se sépare sous la forme d'un précipité floconneux, différant d'ailleurs à peine par sa couleur, du protoxyde employé. L'analyse indique, dans ce composé, la constitution appartenant au pourpre de Cassius.

Voici quelques autres faits qui amènent à la même conclusion. Le pourpre de Cassius, traité par l'acide chlorhy-

---

d'un corps susceptible de s'unir au produit de la combinaison provoque la formation de ce produit lui-même.

On avait objecté, à cette expérience de M. Gay-Lussac, que l'or avait pu se dissoudre dans l'acide hyponitrique dégagé durant la réaction. Mais l'objection n'est point admissible, car l'acide hyponitrique ne dissout pas l'or, comme je m'en suis assuré après bien d'autres chimistes (Davy, Baudrimont, etc.). Mais, d'un autre côté, il me paraît bien démontré, par les expériences déjà anciennes, mais assurément fort exactes, de Sage, rapportées dans le *Système des Connaissances* de Fourcroy, que l'or est dissous, ou, si l'on veut, oxydé par l'acide nitrique chargé d'acide hyponitrique.

Enfin j'ajouterai, pour terminer, que rien ne prouve que le produit ainsi formé, dont l'analyse quantitative n'a réellement pas été faite, soit du pourpre de Cassius et non pas un simple mélange d'oxyde d'étain et d'or métallique offrant cette teinte pourpre particulière à l'or extrêmement divisé.

Quant au fait invoqué par M. Sarzeau, il est clair qu'il n'ajoute rien à la question. Le pourpre n'existait pas comme il le pense, tout formé dans ces médailles enfouies, puisqu'elles présentaient une couleur grise et que le pourpre n'était mis en évidence qu'en les traitant par l'acide nitrique. Or, comme ces médailles contenaient de l'or, de l'argent et de l'étain, on comprend ce qui s'est passé : on a simplement reproduit l'expérience précédente de M. Gay-Lussac, en faisant réagir l'acide nitrique sur un alliage d'or, d'argent et d'étain.

drique, fournit une dissolution de bichlorure d'étain sans aucune trace de protochlorure; la potasse bouillante lui enlève également de l'acide stannique, que l'on peut mettre en évidence en saturant l'acali. L'acide stannique existe donc réellement dans le pourpre.

Quant à l'existence du protoxyde d'or, elle ne saurait être douteuse, car le pourpre de Cassius et le protoxyde d'or, desséchés, ont rigoureusement la même couleur. D'ailleurs, quand on fait réagir l'acide chlorhydrique sur le pourpre de Cassius, le résidu de l'action de l'acide consiste uniquement en or, ce qui est naturel, attendu que l'acide chlorhydrique décompose, dans ce cas, le protoxyde d'or en formant de l'eau et laissant l'or métallique.

Mais j'insisterai surtout, pour indiquer les rapports véritables dans lesquels le protoxyde d'or et l'acide stannique sont unis dans ce composé, sur les résultats que m'ont donnés les analyses nombreuses des différents pourpres que j'ai examinés.

En soumettant à l'analyse, au début de ces recherches, des pourpres préparés avec le plus grand soin, selon les procédés indiqués par différents chimistes, je n'arrivais jamais à un résultat comparable avec celui d'une précédente analyse, ou pouvant s'exprimer en équivalents. Mais ayant essayé de soumettre ces pourpres à l'action de la potasse bouillante, j'ai trouvé que l'alcali enlève une proportion variable d'oxyde d'étain, et que le résultat de cette action est un composé toujours d'une nature identique. Ainsi, en traitant par la potasse bouillante des pourpres d'une composition différente, l'alcali s'empare de l'excès d'acide stannique introduit dans le composé par diverses circonstances qui seront examinées plus bas, et le pourpre de Cassius, normal pour ainsi dire, est mis en évidence.

Voici une de ces analyses et les circonstances particulières qui accompagnent le traitement du pourpre de Cassius par la potasse.

15 grammes de pourpre de Cassius préparé avec la dissolu-

tion d'étain ont été traités, pendant quelques minutes, par une solution bouillante de potasse caustique, et le mélange jeté sur un filtre pour séparer le stannate de potasse formé. Le produit de cette action a la propriété de se dissoudre dans l'eau distillée froide, en produisant ces dissolutions apparentes particulières au protoxyde d'or et au pourpre de Cassius. Ce moyen fournissant un procédé commode d'obtenir le produit de la réaction dans un certain état de pureté, on a versé à plusieurs reprises de l'eau distillée sur le filtre pour le dissoudre, et les liqueurs fortement colorées en bleu-violet étant réunies, on les a précipitées en ajoutant au liquide chauffé un peu de sel ammoniac. Le produit, lavé et séché dans le vide, a été analysé par la méthode suivie par Proust, et qui consiste à peser le pourpre employé, à calciner pour chasser l'eau, à traiter ensuite le produit calciné par l'eau régale qui dissout l'or et un peu d'oxyde d'étain, et à précipiter enfin la dissolution d'or concentrée et étendue d'eau par le sulfate de fer. Le poids du protoxyde d'or est donné à l'aide du calcul, d'après le poids de l'or obtenu. L'acide stannique est dosé par la différence entre le poids du pourpre calciné et le poids de l'or obtenu. Enfin, l'eau se détermine par la différence entre le poids du pourpre employé et la somme trouvée de l'oxyde d'or et de l'acide stannique, ou d'après la calcination (1).

1gr,263 de ce composé séché dans le vide, calciné dans un creuset de platine, a laissé un résidu d'or et de peroxyde

(1) On sait, depuis longtemps, que le pourpre de Cassius calciné dans un tube de verre ne donne pas de dégagement d'oxygène. Cela tient probablement à ce que l'oxyde d'étain détermine la fusion du verre avant que la température nécessaire à cette décomposition se trouve atteinte; ce qui semble le prouver, c'est que le pourpre ainsi traité conserve sa couleur à peu près habituelle, tandis que, calciné fortement dans un creuset de platine, il présente la couleur ocreuse ou rougeâtre d'or réduit. Il m'a semblé que le pourpre obtenu dans l'expérience dont il vient d'être question donnait, étant calciné dans un tube de verre, un véritable dégagement gazeux; mais je n'ai jamais opéré sur une assez grande quantité de matière pour m'assurer si c'était réellement de l'oxygène.

d'étain pesant $1^{gr},154$. Ce résidu, traité par l'eau régale, a fourni une dissolution d'or qui, convenablement précipitée par le sulfate de fer, a donné $0^{gr},54$ d'or métallique.

En transformant par le calcul l'or obtenu en protoxyde d'or, et déterminant l'oxyde d'étain par différence, on trouve que $1^{gr},263$ de pourpre analysé contiennent :

Protoxyde d'or. .	0,561	ou	44,41
Acide stannique.	0,614		48,61
Eau...........	0,088		6,98
	1,263		100,00

Ces nombres correspondent à la formule

$$3\,(StO^2)\,Au^2O + 4HO.$$

On a, en effet :

			Calculé.	Trouvé.
1 équivalent de protoxyde d'or..	2586	ou	44,30	44,41
3 équivalents d'acide stannique.	2805		48,02	48,61
4 équivalents d'eau...........	450		7,68	6,98
	5841		100,00	100,00

L'analyse du pourpre de Cassius, qui se forme directement quand on met en présence le protoxyde d'or et l'acide stannique dissous dans la potasse, a indiqué pour ce composé la composition atomique précédente.

En déterminant, en effet, par le même moyen la quantité d'or et d'oxyde d'étain contenue dans un certain poids de cet oxyde calciné, j'ai trouvé qu'il renfermait 46,8 d'oxyde d'or et 53,2 d'oxyde d'étain, nombres qui ne s'éloignent pas trop de la formule

$$3\,(StO^2)\,Au^2O,$$

qui exige 47,9 d'oxyde d'or et 52,1 d'acide stannique. On a négligé de déterminer la quantité d'eau.

C'est précisément à la formule trouvée plus haut

$$3\,(StO^2)\,Au^2O + 4HO,$$

que j'ai été conduit en analysant le pourpre de Cassius qui se forme dans une réaction très-intéressante qui a été bien indiquée pour la première fois par B. Pelletier. Elle consiste simplement à placer de l'étain métallique dans une

solution de chlorure d'or; le pourpre se précipite au bout de quelques instants. Je reviendrai tout à l'heure sur cette réaction en parlant de la préparation du pourpre.

L'analyse de ce composé, préparée avec beaucoup de soins, m'a donné les résultats suivants :

2gr,160 de ce composé séché sous une cloche contenant de l'acide sulfurique, ont laissé, après la calcination dans le creuset de platine, un résidu d'or métallique et de peroxyde d'étain pesant 1gr,982 ; l'or dissous dans l'eau régale et précipité par le sulfate de fer, a pesé 0gr,93. On trouve, en calculant ces données, que les 2,16 de pourpre analysés devaient contenir :

Protoxyde d'or....	0,967	ou	44,76
Peroxyde d'étain..	1,052		48,70
Eau.	0,141		7,53
	2,160		100,00

Ces nombres correspondent exactement à la formule

$$3(StO^2)\,AuO + 4HO.$$

On a, en effet :

			Calculé.	Trouvé.
1 équivalent de protoxyde d'or....	2586	ou	44,30	44,76
3 équivalents de peroxyde d'étain.	2805		48,02	48,70
4 équivalents d'eau.............	450		7,68	6,54
	5841		100,00	100,00

Il résulte donc des analyses précédentes, que le pourpre de Cassius, qui avait fourni aux chimistes tant de résultats numériques éloignés les uns des autres, est cependant une combinaison parfaitement définie. Le désaccord que l'on remarque entre leurs analyses tient à deux causes : la première, c'est que les procédés suivis pour obtenir ce composé donnent nécessairement, comme je le montrerai bientôt, des produits qui ne peuvent que présenter un rapport excessivement variable entre le peroxyde d'étain et l'oxyde d'or. La seconde, c'est que la combinaison primitive qui constitue le pourpre de Cassius peut s'unir, durant la préparation, à une quantité variable d'oxyde d'étain. En effet, si l'on enlève cet oxyde d'étain en excès, au moyen

de la potasse, on met en évidence la combinaison originelle; et, d'un autre côté, si au lieu de préparer le pourpre en mélangeant une dissolution d'or et une dissolution d'un sel d'étain, on prépare ce composé avec l'étain métallique, c'est-à-dire par le secours d'une réaction très-nette, qui ne peut introduire dans la liqueur que la quantité de métal nécessaire à l'accomplissement de la réaction, on trouve alors au pourpre la composition très-rigoureusement définie, que nous lui avons reconnue, et qui se représente par la formule

$$3\,(St\,O^2)\,Au^2\,O + 4\,HO.$$

Cette formule, qui contient 3 équivalents d'acide pour un seul équivalent de base, semble peu admissible au premier abord. Cependant on reconnaîtra bientôt qu'elle rentre tout à fait dans le cadre des combinaisons ordinaires, si l'on se rappelle que M. Frémy, dans ses recherches sur les acides métalliques, a montré que le peroxyde d'étain entre dans les sels neutres pour 3 équivalents; de telle sorte qu'un stannate neutre n'est point représenté par

$$St\,O^2, MO,$$

mais par

$$3\,(St\,O^2)\,MO.$$

Si donc l'on adopte ce point de vue, on voit que le pourpre de Cassius est simplement le stannate neutre de protoxyde d'or.

Ce qui confirmera la constitution que j'assigne au pourpre de Cassius, c'est l'existence d'un composé correspondant qui renferme précisément deux fois plus d'oxyde d'étain que le stannate neutre, examiné tout à l'heure, et qui constitue dès lors le bistannate de protoxyde d'or.

M. Berzelius, qui a analysé avec soin le pourpre de Cassius, qu'il avait préparé au moyen de la dissolution de l'étain dans l'eau régale, a trouvé dans ce composé, pour 92,35 en poids de pourpre calciné, 28,35 d'or métallique et 64 d'oxyde d'étain; M. Buisson a obtenu des nombres très-rapprochés de ceux-là. Or, si l'on calcule ces résultats

en admettant l'existence du protoxyde d'or dans ce composé, on voit que si l'on ajoute à l'or métallique l'oxygène qu'il a perdu par la calcination, on trouve que les 92,35 de pourpre correspondant avec l'oxygène perdu à 93,49, doivent contenir :

Protoxyde d'or.....	29,49	ou	31,54
Peroxyde d'étain..	64,00		68,46
	93,49		100,00

Ces nombres correspondent exactement à la formule

$$6(StO^2)\,Au^2O.$$

On a, en effet :

			Calculé.	Trouvé.
1 équivalent de protoxyde d'or....	2586	ou	31,55	31,54
6 équivalents de peroxyde d'étain.	5610		68,45	68,46
	8196		100,00	100,00

Je n'ai pas vu sans plaisir une telle confirmation de mes propres résultats dans des expériences étrangères aux miennes, et dues à un chimiste aussi habile que M. Berzelius.

On peut donc, je pense, conclure des faits qui précèdent, que le pourpre de Cassius, qui a exercé depuis si longtemps la sagacité des chimistes, est une combinaison parfaitement définie de protoxyde d'or et de peroxyde d'étain, représentant le stannate neutre, et pouvant aussi représenter le bistannate de protoxyde d'or (1).

Je terminerai ce qui concerne le pourpre de Cassius par l'exposition d'un procédé particulier pour sa préparation.

Les moyens si variés et si nombreux mis en usage pour la préparation de ce produit sont tous d'un emploi extrêmement incertain, et bien rarement les fabricants ou les

(1) Il ne faudrait pas croire, toutefois, que les analyses du pourpre, faites par les différents chimistes, se résument en des formules aussi simples. Il suffirait, pour se convaincre du contraire, de calculer, dans le sens précédent, les résultats que nous possédons à cet égard. En examinant les pourpres pris dans le commerce, ou que j'ai préparés par les différents procédés recommandés par les chimistes, j'ai obtenu les résultats les plus discordants et que l'on me dispensera de rapporter. La cause de ces divergences a été suffisamment indiquée plus haut.

artistes peuvent se flatter d'avance de réussir dans cette opération. Dans les établissements où l'on a souvent à préparer ce composé, d'un usage perpétuel dans la peinture et la décoration des porcelaines ou des verres, les tâtonnements empiriques d'une longue expérience ont fait rencontrer un procédé satisfaisant, auquel on se conforme ensuite en observant avec grand soin les précautions minutieuses de toute espèce que l'on a une fois reconnues utiles.

Les insuccès que l'on éprouve si fréquemment dans la préparation du pourpre de Cassius sont à peu près inévitables en raison du procédé général qui est adopté et qui consiste à mélanger une dissolution de chlorure d'or et une dissolution d'étain dans l'eau régale, ou bien une dissolution de protochlorure d'étain dans l'acide chlorhydrique. Il y a en effet, dans l'emploi des dissolutions salines d'étain, deux causes évidentes d'altération du produit : on introduit dans la liqueur de l'acide chlorhydrique libre ou de l'eau régale, qui ont pour effet de décomposer l'oxyde d'or par l'acide chlorhydrique qui reste en excès, ou de dissoudre une partie de l'or, si l'on emploie l'eau régale. Que l'on ajoute, en effet, à du pourpre bien préparé quelques gouttes d'acide chlorhydrique, on verra sa couleur s'altérer et on reconnaîtra la précipitation d'une partie de l'or. En second lieu, et c'est l'inconvénient principal, car il empêche d'obtenir dans deux opérations différentes deux composés d'une constitution identique, rien n'annonce à l'opérateur le point auquel il doit arrêter l'effusion de la dissolution d'étain, de telle sorte que l'oxyde d'étain ou l'oxyde d'or sont toujours introduits en quantités différentes ; car on n'est point le maître de reconnaître à quel terme les dissolutions sont mélangées dans un rapport convenable. Ajoutons qu'il n'est pas facile d'obtenir dans la dissolution d'étain un mélange convenable de protoxyde et de peroxyde d'étain pouvant donner exactement naissance à la réaction qui se produit dans ce cas et qui se représente par la formule

$$2(StO) + StO^2 + Au^2O^3 = 3(StO^2)Au^2O.$$

Aussi je pense que les personnes qui s'occupent de la préparation du pourpre de Cassius verront ici avec plaisir la description d'un procédé pour la préparation de ce produit, qui est à la fois d'une simplicité et d'une rigueur si grandes, que je puis sans crainte annoncer que sa réussite est presque infaillible dans tous les cas et qu'il fournit un composé toujours identique.

Ce moyen, dont j'ai déjà dit quelques mots plus haut, consiste à placer simplement, dans une dissolution d'or, de l'étain métallique (1). On dissout 20 grammes d'or, par exemple, dans 100 grammes d'eau régale faite avec 4 parties

---

(1) La réaction qui se produit entre l'étain et le chlorure d'or est probablement la suivante. L'étain commence par déplacer une partie de l'or et par donner un mélange de protoxyde et de peroxyde d'étain

$$Au^2O^3 + 2St = StO^2 + StO + Au^2.$$

C'est ce mélange de protoxyde et de peroxyde d'étain qui, réagissant ensuite sur le reste du chlorure d'or non décomposé, donne, comme à l'ordinaire, du pourpre de Cassius.

Je n'ai pas fait d'expériences directes pour vérifier si la réaction se passe réellement ainsi; mais ceci explique du moins les faits que j'ai observés, savoir :

1°. Que l'étain reste mêlé d'or métallique après la réaction;

2°. Que la liqueur filtrée contient du perchlorure d'étain;

3°. Que la réaction paraît s'effectuer aussi bien à l'abri de l'air qu'en sa présence.

L'action de l'étain sur la dissolution d'or a été indiquée par B. Pelletier, mais elle était, je crois, plus anciennement connue; toutefois, elle était à peu près oubliée aujourd'hui. Quelques chimistes anciens ont décrit le produit de cette réaction sous le nom d'*oxyde d'or par l'étain*. Je m'attendais même, avant d'avoir examiné ce produit, à y trouver le protoxyde d'or dont il présente entièrement la couleur, et je fus surpris de constater par l'analyse son identité avec le pourpre de Cassius.

J'ajouterai que l'action de l'étain sur la dissolution d'or fournit le réactif le plus sensible pour reconnaître les plus petites quantités d'or. Une dissolution de ce métal, assez étendue pour que le sulfate de fer n'indique pas sa présence, fournit, par une lame d'étain avec l'addition de quelques gouttes d'acide chlorhydrique, une nuance rose, et détermine, au bout de quelques heures, un précipité de pourpre de Cassius.

Le sulfate de fer est un réactif très-sensible cependant, et bien préférable à l'acide sulfureux et à l'acide oxalique qui sont difficilement maniables. Le sulfate de zinc trouble également le chlorure d'or, mais avec assez de lenteur, en déterminant un dépôt d'or.

d'acide chlorhydrique pour une partie d'acide nitrique ; on évapore la dissolution régale de l'or jusqu'à peu près siccité ; cette évaporation est indispensable pour se mettre à l'abri de l'action des acides. Le chlorure d'or étant redissous dans l'eau et filtré, on étend le liquide de manière à avoir $\frac{3}{4}$ de litre, on place alors quelques fragments de grenaille d'étain dans la liqueur, qui se trouble bientôt et devient brunâtre en quelques minutes ; on voit sa teinte se foncer peu à peu, et au bout d'un quart d'heure elle a pris une couleur pourpre admirable; le précipité s'est déposé, et il n'y a plus qu'à le recueillir sur un filtre.

Il arrive quelquefois surtout, quand on agit sur des quantités un peu fortes, que le précipité ne se sépare point, mais reste dans le liquide qu'il colore en pourpre foncé, en produisant ces dissolutions apparentes particulières au pourpre et au protoxyde d'or; dans ces cas, il suffit de chauffer légèrement le liquide et d'y ajouter un peu de sel marin ; le produit se sépare aussitôt.

Quand on décante le liquide tenant le pourpre en suspension pour le séparer de l'étain métallique en excès, il faut prendre garde d'entraîner quelques particules d'étain qui se trouvent précipitées au fond du vase, sous la forme d'une poudre noire ; il est bon de laisser reposer quelque temps la liqueur et de décanter ensuite, en répétant trois ou quatre fois cette opération.

On obtient par ce procédé moins de pourpre que par les procédés ordinaires, ce qui est naturel, puisque le composé qui se forme contient moins de peroxyde d'étain et représente le stannate neutre de protoxyde d'or ; de plus, l'étain métallique resté au fond du vase, retient de l'or ; aussi ne faut-il pas le jeter, mais le conserver pour des opérations ultérieures.

Je terminerai ce Mémoire par le résumé de quelques expériences qui ont eu pour résultat :

1°. D'établir quelques faits nouveaux sur le tritoxyde d'or (acide aurique);

2°. De montrer que le bioxyde d'or admis par M. Berzelius ne doit réellement pas exister ;

3°. De présenter une vue théorique particulière sur la constitution de l'or fulminant, ou mieux des diverses espèces d'or fulminant.

Tritoxyde d'or.

L'acide aurique étant de beaucoup la mieux connue des combinaisons oxygénées de l'or par suite du beau travail de Pelletier, les faits que je ferai connaître sur ce composé ne pourront avoir qu'un intérêt secondaire.

Je commencerai par donner la description d'un moyen nouveau pour préparer cet oxyde, qui me paraît réunir une grande rigueur à une facilité remarquable d'exécution.

On prépare le tritoxyde d'or dans les laboratoires par deux procédés : le traitement du chlorure d'or à la température de l'ébullition par le bicarbonate de potasse jusqu'à cessation d'effervescence, ou la précipitation par la magnésie, conseillée par Pelletier.

Le premier de ces procédés tel qu'on l'exécute dans les laboratoires ne donne qu'une quantité d'oxyde d'or insignifiante, car l'alcali en excès redissout promptement à l'ébullition l'oxyde d'or précipité, en formant du chlorure double d'or et de potassium et de l'aurate de potasse. Le second réussit beaucoup mieux, quoiqu'il soit d'une exécution longue et qu'il fasse perdre à l'état de chlorure d'or et de magnésium une assez grande quantité d'or. J'ai toujours préféré, quand j'ai voulu préparer de l'oxyde d'or au moyen d'un aurate insoluble, traiter le chlorure d'or bouillant par le chlorure de barium. L'emploi d'un sel neutre offre ici des avantages de plus d'un genre ; mais le procédé auquel je me suis arrêté présente sur les précédents une supériorité que l'on comprendra sans peine.

Il consiste à précipiter la solution d'or par le carbonate de soude et à transformer ensuite la petite quantité d'or qui reste dans les liqueurs en aurate de soude que l'on décom-

pose par l'acide sulfurique de manière à mettre l'acide aurique en liberté.

Voici, sur l'exécution de ce procédé, quelques détails qui me paraissent indispensables.

On évapore jusqu'à peu près siccité la dissolution ordinaire de l'or en reprenant par quelques gouttes d'eau régale le léger dépôt de protochlorure d'or qui reste toujours par l'action de la chaleur. On dissout ce chlorure dans l'eau, et la solution brune qui en résulte est *saturée très-exactement* par du carbonate de soude dissous ou solide, et exempt, autant que possible, de chlorure pour éviter la formation du chlorure double d'or et de sodium. La liqueur est portée à l'ébullition en maintenant toujours son exacte neutralité. On fait bouillir pendant une demi-heure, ou plutôt jusqu'à ce qu'il ne se forme plus de précipité par l'action de la chaleur.

Par ce traitement, la plus grande partie de l'or employé se précipite à l'état d'oxyde de couleur brun-fauve. En opérant sur 30 grammes d'or, la liqueur séparée du précipité ne retient pas plus de 4 grammes d'or métallique. Pour retirer le reste de ce métal à l'état d'oxyde, on sursature la liqueur filtrée par le carbonate de soude qui produit à chaud la transformation du chlorure double d'or et de sodium existant dans la liqueur, en aurate de soude avec dégagement d'acide carbonique. La liqueur prend une couleur verdâtre qui annonce la formation de l'aurate.

Il suffit alors de neutraliser la liqueur par l'acide sulfurique étendu pour opérer la précipitation de l'acide aurique. Il est nécessaire, pour obtenir la précipitation, de chauffer le liquide, car toutes les réactions de l'or ne s'accomplissent bien, en général, qu'à une température élevée.

On évitera avec soin un excès d'acide sulfurique, car on comprend que la présence de l'acide sulfurique libre donnerait naissance à de l'acide chlorhydrique qui dissoudrait l'oxyde précipité. On laissera même au liquide une réaction légèrement alcaline.

Bien que l'acide aurique précipité, dans ce dernier cas,

ait une couleur jaunâtre qui dépend de son mode de précipitation et de son état d'hydratation, il a la même composition que le premier produit, et on les réunit sur le même filtre. Les liqueurs filtrées doivent passer presque entièrement incolores, ce qui indique que, dans ce procédé, presque tout l'or employé se retrouve dans l'oxyde.

Il faut savoir que le tritoxyde d'or ainsi obtenu ne se dissout que très-difficilement dans la potasse. L'analyse ne laisse cependant aucun doute sur sa pureté absolue. Mais, pour que l'acide aurique se dissolve aisément dans les alcalis, il faut qu'il soit obtenu à l'état gélatineux, par suite de la décomposition d'un aurate.

Voici maintenant un petit nombre de faits particuliers à ajouter à l'histoire de l'acide aurique.

J'ai trouvé, en déterminant la quantité d'eau contenue dans l'acide aurique, que celle-ci s'y trouve toujours en proportion équivalente. Ainsi le tritoxyde d'or, préparé au moyen de l'aurate de magnésie, contient, après une exposition dans le vide ou sa dessiccation à l'air libre, 29 pour 100 ou 10 équivalents d'eau. Il en est de même pour le tritoxyde d'or obtenu en précipitant l'aurate de potasse par l'acide nitrique.

Le tritoxyde obtenu au moyen du carbonate de soude contient seulement 24 pour 100 ou 8 équivalents d'eau.

Si l'on essaye d'enlever à ces oxydes l'eau qu'ils contiennent, au moyen de la chaleur du bain-marie, ils ne peuvent l'abandonner sans se réduire en partie; aussi, quand on veut obtenir l'acide aurique entièrement exempt d'or réduit, il faut le dessécher dans le vide ou l'exposer à l'air libre.

La température à laquelle se fait la réduction complète du tritoxyde d'or n'avait pas été, je crois, déterminée ; je l'ai trouvée fixée à 245 degrés.

L'hydrogène à la température ordinaire est sans action sur le tritoxyde d'or ; mais pour peu qu'on élève sa température, il le réduit très-promptement. Quand on dirige un courant de ce gaz desséché par le chlorure de calcium, sur de

l'acide aurique contenu dans un petit tube de verre, et que l'on chauffe très-légèrement une partie de l'oxyde, celui-ci brûle tout aussitôt avec énergie, et l'on voit une belle flamme, d'abord verte, puis rouge, se propager à toute la traînée de l'oxyde. L'or reste avec son éclat métallique.

L'iode chauffé modérément, en présence de l'eau avec de l'acide aurique donne une liqueur laiteuse qui laisse bientôt déposer une poudre jaune clair. Si l'on faisait bouillir le mélange, l'iodure se réduirait en déposant de l'or. Bien que je n'aie pas analysé ce produit, il est à croire qu'il se forme dans cette circonstance le periodure d'or que l'on n'avait pas encore isolé.

L'alcool à froid est sans action sur l'acide aurique obtenu par la saturation de l'aurate de potasse, mais à une température élevée; il le réduit promptement en or métallique.

J'ai déjà indiqué les difficultés que l'on éprouve à évaporer la dissolution de l'aurate de potasse sans qu'il abandonne du protoxyde d'or. Le seul moyen qui m'ait réussi pour l'obtenir exempt de protoxyde a été d'abandonner la dissolution à l'évaporation spontanée, en n'agissant que sur de petites quantités de liqueur. Ce sel est jaune-verdâtre, il est très-soluble dans l'eau, et se dissout également dans l'alcool. Cette solution alcoolique ne s'altère pas sensiblement, abandonnée à elle-même; mais si on le chauffe seulement à 50 degrés, on voit aussitôt tout l'or métallique se précipiter avec sa couleur brune.

Je dirai un mot de la diversité des colorations que l'acide aurique peut offrir selon ses états divers d'hydratation. Ainsi, préparé avec l'aurate de baryte ou de magnésie, ou bien avec le carbonate de soude, il est brun-ocracé; précipité à froid du chlorure d'or par la potasse non en excès, il est jaune-serin; précipité de l'aurate de potasse par un acide faible, comme l'acide carbonique, les acides nitrique et sulfurique très-étendus, il est aussi jaune-serin. Si l'acide est concentré, il est de couleur olive, et quelquefois d'un vert si foncé qu'il paraît noir. Les acides nitrique et sulfurique au degré

de concentration ordinaire le séparent de cette dissolution d'aurate de potasse avec une couleur jaune foncé.

C'est à la proportion d'eau contenue dans ces divers oxydes qu'est due la variété de leur coloration, car ils sont tous chimiquement identiques et contiennent 10 pour 100 d'oxygène, ainsi que je m'en suis assuré bien des fois, car la différence de leurs couleurs me portait toujours à soupçonner en eux quelque oxyde d'or particulier et différent du tritoxyde.

Oxyde d'or intermédiaire.

Guyton, Oberkampf, M. Berzelius et quelques autres chimistes ont admis l'existence d'un oxyde d'or de couleur pourpre, qui, d'après M. Berzelius, représenterait le composé $Au^2 O^2$, c'est-à-dire le bioxyde d'or. Voici ce que dit à cet égard ce dernier chimiste, dans son *Traité de Chimie :*

« Je dirai un mot de l'existence probable d'un oxyde
» pourpre intermédiaire qui se forme dans la préparation
» du pourpre de Cassius, ainsi que quand on traite des sels
» d'or par des substances animales ou végétales. Quand une
» dissolution d'or est mise en contact avec la peau, les che-
» veux, les ongles, ou d'autres parties semblables, elle les
» teint d'une couleur pourpre très-belle qui n'est pas de l'or
» métallique, car elle est translucide sur les membranes
» transparentes. Du papier coloré en pourpre par une disso-
» lution d'or devient doré quand on l'introduit dans du gaz
» phosphure d'hydrogène qui ramène l'or à l'état métal-
» lique. En mêlant une dissolution d'or avec différentes
» couleurs végétales, elles sont précipitées. Le précipité
» renferme l'oxyde pourpre et n'est pas décomposé par l'a-
» cide chlorhydrique. Oberkampf a trouvé qu'en dirigeant
» longtemps un courant de gaz hydrogène à travers une
» dissolution de chlorure aurique, la liqueur jaune devient
» d'un beau pourpre sans qu'il se forme un précipité. Si
» ensuite on la chauffe, elle laisse déposer de l'or métal-
» lique et repasse au jaune..... Ne se pourrait-il pas que cet
» oxyde constituât un degré d'oxydation inférieur à celui

» de l'acide aurique, et ne serait-il pas possible qu'il tînt
» le milieu entre l'oxyde aureux et l'oxyde aurique? »

J'ai répété les expériences dont parle ici M. Berzelius, celles d'Oberkampf et celles de Guyton, et je suis convaincu que dans toutes les circonstances invoquées en faveur de l'existence de ce trioxyde d'or, il ne se forme réellement que de l'or métallique.

Ainsi, en ajoutant à du chlorure d'or une infusion de diverses matières végétales ou animales, on obtient, au bout de quelques heures de contact, ou plus promptement par l'action de la chaleur, une coloration qui est quelquefois d'un pourpre rose magnifique. La liqueur ne dépose pas ordinairement de précipité et traverse les filtres, mais le précipité se forme immédiatement, en chauffant le liquide, avec l'addition d'un sel soluble. Ajoutons que le papier trempé dans le chlorure d'or et exposé à la lumière solaire, devient également pourpre, et qu'une chaleur modérée produit à peu près le même effet; enfin, que la dissolution d'aurate de potasse produit aussi à chaud un dépôt pourpre sur le papier.

J'ai examiné avec soin ces précipités pourpres obtenus par un grand nombre de matières organiques, végétales ou animales, telles que l'infusion de cochenille, de sang-dragon, de chicorée, de douce-amère, de feuilles de Rumex patientia, d'orcanette, de quinquina, etc., qui fournissent des précipités pourpre rose d'une belle couleur, mais qui souvent aussi précipitent l'or avec son éclat métallique ou son aspect ocracé.

Tous ces précipités m'ont paru formés d'or métallique uni à la matière organique qu'il teint de la nuance pourpre.

En effet, l'acide chlorhydrique n'en retire aucune trace d'or, ce qui devrait arriver s'ils contenaient un oxyde d'or quelconque, d'après la manière dont le protoxyde d'or lui-même se comporte avec l'acide chlorhydrique. Quand on les calcine dans un tube de verre, on n'obtient pas de gaz oxygène, mais bien un mélange d'hydrogène car-

boné et d'acide carbonique provenant de la décomposition de la matière organique qui leur est unie. Si on les fait bouillir avec de la potasse dans le but de détruire cette matière organique, l'acide chlorhydrique reste toujours, néanmoins, sans action dissolvante sur le produit. Si on détruit cette matière organique par l'acide nitrique, il se dégage du gaz nitreux, et le produit qui reste pourpre ne donne point d'oxygène par la calcination.

J'ai répété d'ailleurs les expériences d'Oberkampf, sans pouvoir reproduire les résultats qu'il a obtenus. Le gaz hydrogène réduit le chlorure d'or en précipitant purement le métal avec sa couleur brune (1). L'hydrogène phosphoré produit le même effet, mais plus rapidement. En plaçant dans le gaz hydrogène phosphoré du papier coloré en pourpre par l'aurate de potasse ou le chlorure d'or, je ne l'ai point vu devenir doré, et je ne puis expliquer le fait de M. Berzelius qu'en admettant que dans cette expérience, le papier contenait du chlorure d'or non décomposé que le phosphure d'hydrogène a réduit, en donnant à l'or l'éclat métallique qu'il lui communique dans les réductions de cette espèce.

J'ai répété également l'expérience très-connue de Guyton, sur la coloration pourpre de l'or traversé par une décharge électrique. Les taches pourpres que l'on obtient ainsi ne cèdent aucune trace d'or à l'acide chlorhydrique. Comme on l'a d'ailleurs fait remarquer depuis longtemps, il n'est pas raisonnable d'admettre l'oxydation de l'or à la température où les oxydes de ce métal sont réduits immédiatement.

---

(1) Je ne mets pas en doute cette expérience d'Oberkampf, invoquée par M. Berzelius; je dis seulement que je n'ai pas réussi à la produire. Je comprends d'ailleurs très-bien que l'expérience ait pu se passer comme il le dit. La couleur pourpre présentée par le liquide était due à l'or pourpre très-divisé, et qui reste souvent suspendu dans les liquides, de manière à traverser les filtres. On observe un fait de ce genre avec les infusions végétales qui se colorent en pourpre sous l'influence du chlorure d'or sans fournir de précipité.

Il faut donc, je pense, conclure des faits qui précèdent que l'existence du bioxyde d'or n'est point fondée, et que, du moins, dans le cas invoqué pour en établir l'existence, c'est de l'or métallique qui a pris véritablement naissance, affectant la couleur pourpre. Il faut bien savoir, en effet, pour mettre un terme à une confusion qui dure depuis trop longtemps sur ces matières, que l'or affecte souvent cette teinte pourpre ou pourpre rose. Ainsi, quand on fait détoner sur le filtre l'or fulminant, le papier reste tapissé de taches pourpres. On sait que le verre est coloré en pourpre par le chlorure d'or ou par l'or en feuilles délayé dans un fondant.

L'or, qui d'ailleurs présente au sein des liquides tant de variétés de coloration, présente donc souvent la teinte pourpre ou pourpre rose, et il m'a semblé que c'est dans les cas où il atteint son dernier degré de division qu'il peut affecter cette couleur.

Or fulminant.

Il existe sur la constitution de l'or fulminant deux théories différentes. Proust, Berthollet et quelques autres chimistes l'ont regardé comme une combinaison pure et simple d'oxyde d'or et d'ammoniaque. M. Dumas, dans un travail publié en 1830, a émis cette opinion, que l'or fulminant résulterait de la combinaison de 1 équivalent d'azoture d'or avec 2 équivalents d'ammoniaque, l'azoture d'or jouant, vis-à-vis de l'ammoniaque, le rôle d'acide.

Il m'a paru que dans l'état actuel de la science, l'opinion anciennement émise par Proust et Berthollet est encore la mieux en harmonie avec les faits.

On a vu que le protoxyde d'or fournit, comme l'acide aurique, un composé fulminant. Il faudrait donc admettre, dans l'opinion de M. Dumas, un nouvel azoture d'or correspondant. Or, jusqu'à ce moment, aucune combinaison de l'or avec l'azote n'a pu être réalisée.

De plus, les composés fulminants connus aujourd'hui présentent entièrement la couleur de l'oxyde d'or qui les a

fournis. L'or fulminant du protoxyde d'or est bleu-violet comme cet oxyde. L'or fulminant obtenu en mettant l'ammoniaque en contact avec le tritoxyde d'or précipité par l'acide nitrique de l'aurate de potasse, est de couleur olive comme cet oxyde. Enfin, l'or fulminant obtenu en traitant par l'ammoniaque le chlorure d'or, est jaune comme le tritoxyde d'or hydraté, séparé à froid par la potasse d'une solution étendue de chlorure d'or, ou comme ce même oxyde précipité par un acide faible de l'aurate de potasse. L'identité de coloration des oxydes d'or avec les composés fulminants qui leur correspondent, amène à croire que, dans ces composés, l'oxyde d'or entre sans subir d'altération dans sa nature, et que ce sont là de simples combinaisons salines de l'ammoniaque, ces oxydes pouvant jouer tous les deux, comme on l'a vu, le rôle d'acide.

Enfin, et j'insisterai principalement sur ce fait, les analyses, faites par M. Dumas, de l'or fulminant fourni par l'acide aurique s'accordent entièrement avec cette manière de voir.

M. Dumas a trouvé, pour la composition de l'or fulminant préparé avec l'acide aurique, la formule

$$(Au^2\,Az) + Az\,H^3 + H^3\,O^3;$$

il est clair qu'on peut l'interpréter plus simplement ainsi :

$$Au^2\,O^3 + 2\,(Az\,H^3),$$

c'est-à-dire comme représentant un sous-aurate d'ammoniaque. De plus, l'or fulminant, obtenu avec le chlorure d'or et l'ammoniaque, a donné à M. Dumas, dans les analyses qu'il a faites de ce composé,

Or....	74 pour 100;
Azote.	9,5 pour 100.

Or, ces nombres satisfont à la formule

$$Au^2\,O^3 + 2\,(Az\,H^3) + HO,$$

qui représente le composé précédent hydraté, et qui exige :

Or....	74 pour 100;
Azote.	10 pour 100.

Si dans deux expériences ce temps et cette intensité focale restent constants, le degré d'altération sera le même ; si, le temps étant le même, on obtient le même degré d'altération, on en pourra conclure que l'intensité focale est la même. Or cette intensité i de l'image focale est liée à l'intensité I de l'objet lumineux, au rayon d'ouverture de la lentille r, et à la distance focale d par la relation

$$(1) \qquad i = \frac{\mathrm{I} r^2}{d^2} = \mathrm{I} \tang^2 \alpha,$$

2α étant l'angle sous lequel on verrait l'ouverture en se plaçant au foyer.

Par conséquent, si *dans un même temps on obtient le même degré d'altération* dans deux mêmes couches sensibles placées aux foyers de deux lentilles pour lesquelles les angles α et α' seront différents, et que l'on aura dirigées vers deux objets lumineux d'intensités I et I', on en pourra conclure l'égalité des intensités focales $i = i'$, ou bien, par suite de la relation (1),

$$\mathrm{I} \tang^2 \alpha = \mathrm{I}' \tang^2 \alpha',$$

d'où l'on tire

$$\frac{\mathrm{I}}{\mathrm{I}'} = \frac{\tang^2 \alpha'}{\tang^2 \alpha};$$

or, ces tangentes étant données par la mesure directe des ouvertures et des distances focales des deux lentilles, on aura donc le rapport entre les intensités des deux sources lumineuses.

Dans ces sortes d'expériences il est quelquefois difficile de disposer les ouvertures et les distances focales de manière à obtenir un même degré d'altération dans le même temps ; il était donc important de pouvoir arriver au rapport I : I' en obtenant un même degré d'altération dans des temps différents.

Pour cela il suffirait d'admettre, ce qui d'abord semble probable, qu'il y a égalité d'action chimique lorsque les temps sont en raison inverse des intensités. Il fallait re-

chercher jusqu'à quel point ce principe était vrai; c'est ce que nous avons fait dans les expériences suivantes :

Nous avons dirigé une chambre obscure sur une lampe à lumière bien fixe, puis, en faisant varier l'intensité focale avec des diaphragmes variables, nous avons obtenu sur une couche sensible une série d'images de la lampe; la durée de l'impression pour chaque image était en raison inverse de l'intensité focale.

Nous avons trouvé que les images successives ainsi obtenues sont sensiblement égales tant que les temps et les intensités varient entre les limites 1 et 10, c'est-à-dire tant que les rapports $\frac{i}{i'} = \frac{t'}{t}$ n'atteignent pas une valeur plus grande que 10. Si l'on continue à faire varier l'intensité et le temps au delà de cette limite, on s'aperçoit bientôt que les images ne sont plus égales; pour les valeurs $t' = 60\,t$ et $i' = \frac{i}{60}$, l'image obtenue avec l'intensité i' et le temps t' est incontestablement plus faible que celle qui a été produite par l'intensité i et le temps t.

Il n'est donc pas rigoureusement exact de dire qu'il y a égalité d'action chimique lorsque les temps varient en raison inverse des intensités; mais nos expériences nous ont montré que l'on pouvait sans erreur sensible admettre ce principe entre des limites de temps telles que l'on ait $t' < 10\,t$; c'est-à-dire qu'entre ces limites, si l'on a $\frac{i}{i'} = \frac{t'}{t}$, on aura égalité d'action chimique.

Réciproquement, si l'on a égalité d'action chimique dans des temps t' et t renfermés entre ces limites, on en pourra conclure le rapport entre les intensités focales i' et i,

$$\frac{i}{i'} = \frac{t'}{t},$$

ou bien, d'après la relation $i = \mathrm{I}\,\mathrm{tang}^2\,\alpha$,

$$(2) \qquad \frac{\mathrm{I}\,\mathrm{tang}^2\,\alpha}{\mathrm{I'}\,\mathrm{tang}^2\,\alpha'} = \frac{t'}{t}, \qquad \text{d'où} \qquad \frac{\mathrm{I}}{\mathrm{I'}} = \frac{t'\,\mathrm{tang}^2\,\alpha'}{t\,\mathrm{tang}^2\,\alpha},$$

ce qui permet d'obtenir le rapport entre les intensités de deux sources lumineuses dans le cas plus général où, les temps d'expositions, les ouvertures et les foyers des lentilles étant différents, on a obtenu un même degré d'altération dans deux mêmes couches sensibles.

Il s'agit donc, en dernière analyse, de déterminer, dans la série des altérations qu'éprouvent les couches sensibles, un point fixe qui permette de reconnaître qu'elles ont subi un même degré d'altération.

La couche sensible qui nous a paru le mieux se prêter à cette détermination, en raison de sa préparation assez facilement constante, est la couche d'iodure d'argent de M. Daguerre ; et le point fixe que nous avons adopté est le degré d'altération auquel la couche sensible commence à condenser la vapeur du mercure ; c'est le point auquel commence à naître l'image photographique.

Cette couche d'iodure d'argent, quoique peu impressionnable en comparaison des couches sensibles employées aujourd'hui, nous a présenté de graves difficultés, par la rapidité avec laquelle elle s'est impressionnée sous l'influence des radiations très-intenses que nous voulions étudier. On comprendra cependant que nous ayons rejeté l'emploi de papiers sensibles, moins impressionnables il est vrai, mais aussi d'une préparation difficilement constante, et surtout ne présentant pas dans la série de leurs altérations un point fixe aussi facile à reconnaître que celui que nous venons de signaler dans la couche d'iodure d'argent. Cependant nous devons dire que cette dernière couche sensible elle-même doit être préparée, pour des expériences comparatives, par des moyens absolument identiques et par la même personne, des différences en apparence insignifiantes dans son mode de préparation pouvant faire varier sa sensibilité d'une manière très-notable.

Les expériences étaient faites de la manière suivante :

Une chambre obscure était dirigée vers la source lumineuse, le corps lumineux formait ainsi son image au foyer

de la lentille : cette image ayant de petites dimensions dans nos expériences, on pouvait, en déplaçant un peu l'axe de l'instrument, la déplacer elle-même dans le plan focal.

La lentille étant couverte par un écran, on plaçait la plaque sensible dans le plan focal ; on soulevait alors l'écran pendant un temps compté avec soin, puis, ayant déplacé un peu l'axe de l'instrument, on soulevait de nouveau l'écran, pendant un temps un peu différent, et ainsi de suite on obtenait cinq ou six impressions successives correspondant à des temps différents.

La plaque étant alors soumise aux vapeurs du mercure, on voyait naître une série d'images décroissantes correspondant aux différents temps de l'impression ; si l'expérience avait réussi, la série était incomplète, l'altération de la couche sensible, pendant les temps les plus courts, n'ayant pas été suffisante pour la rendre apte à agir sur la vapeur de mercure. On notait le temps correspondant à la première image, c'est-à-dire à l'image naissante, puis on mesurait l'ouverture de la lentille et sa distance focale.

En opérant de la même manière sur une autre source lumineuse, on avait de même le temps correspondant à l'image naissante, l'ouverture de la lentille et la distance focale.

De ces quantités on déduit, par la relation (2), le rapport $I : I'$. Nous avons ainsi opéré : 1° sur le soleil ; 2° sur les charbons incandescents d'une pile ; 3° sur un fragment de chaux placé dans la flamme du chalumeau à gaz oxygène et hydrogène.

1°. Pour le soleil, nous avons fait usage d'une chambre obscure, munie d'une lentille achromatique de $1^{m},413$ de foyer ; l'ouverture était limitée par des diaphragmes compris entre $1^{mm},3$ et 3 millimètres.

2°. Pour les charbons de la pile et la chaux du chalumeau à gaz, nous avons fait usage de lentilles d'un foyer principal plus court ; plaçant alors la lentille à une distance de la source lumineuse égale au double de la distance focale prin-

cipale, nous pouvions opérer sur une image dont les dimensions étaient celles du corps lumineux lui-même. Le peu d'étendue de ces sources lumineuses rendait nécessaire une telle disposition. La distance focale déterminée par cette position de l'objet était de $0^m,56$ dans nos premières expériences, et fut portée, dans les suivantes, à $1^m,125$. L'ouverture du diaphragme varia entre 17 et 3 millimètres.

Dans toutes nos expériences les temps correspondant à la naissance de l'image furent compris entre 3 secondes et $\frac{1}{5}$ de seconde; on comptait les quarts ou les cinquièmes de seconde.

Lumière solaire. — Les expériences relatives à la lumière solaire ont été faites dans les mois d'août et septembre derniers, et répétées dans les premiers jours d'avril courant.

Il fallait opérer par un temps très-pur et à des heures voisines de midi, conditions auxquelles il a été rare de pouvoir satisfaire simultanément.

Deux séries ont réussi : l'une, le 2 avril à $11^h\ 15^m$, par un temps d'une pureté remarquable, nous a donné la plus grande intensité; nous la représentons par. 1000

L'expérience, répétée le même jour à midi 40 minutes, a donné le même nombre. 1000

L'autre, le 20 septembre à 2 heures, par un ciel d'un bleu pâle, a donné une intensité plus faible. . 751

Il sera intéressant de répéter comparativement ces expériences vers le solstice d'été, ainsi qu'à des heures variables de la journée; c'est ce que nous nous proposons de faire.

Lumière de la pile. — Pour la lumière des charbons de la pile nous avons fait nos premiers essais en plaçant les charbons dans le vide; mais nous avons été obligés de renoncer à ce moyen, par la rapidité avec laquelle les parois intérieures du globe de verre se ternissent. Dans un gaz non combustible le même effet se fût produit : il fallait donc opérer à l'air libre et cependant éviter la combustion rapide que les charbons ordinairement employés subissent dans ce

cas. L'un de nous, M. Foucault, a atteint ce but par l'emploi du charbon provenant de la distillation de la houille; ce charbon permet d'obtenir à l'air libre une lumière fixe et surtout durable, à cause de la lenteur de sa combustion; toutes nos expériences ont été faites avec ce charbon.

Dès nos premiers essais nous avons remarqué une différence notable dans la distribution des surfaces lumineuses sur les deux pôles de la pile, le pôle positif l'emportant de beaucoup en surface lumineuse et même en intensité, sur le pôle négatif.

Le premier présente une surface circulaire de 2 ou 3 millimètres de diamètre, douée d'un éclat à peu près uniforme : en dehors de cet espace l'intensité décroît rapidement; le second ne présente qu'une surface plus petite et qui nous a paru moins brillante. L'arc lumineux qui les unit émet une lumière d'un bleu pourpré et d'une intensité optique évidemment inférieure à celle des deux pôles.

Le pôle positif se prêtait donc le mieux à nos expériences; c'est sur lui que nous avons opéré.

La pile était, comme nous l'avons dit, une pile de Bunsen dont les dimensions étaient telles que les cylindres de charbon d'un diamètre intérieur de $5^{\text{cent}},5$ plongeaient dans l'acide de 9 centimètres; l'acide nitrique employé marquait 20 degrés à l'aréomètre, et l'acide sulfurique 15 degrés.

Dans ces conditions, nous avons obtenu les nombres suivants :

46 couples ont donné pour intensité.........	235;
80 couples ont donné.....................	238.

Si l'intensité ne varie pas d'une manière notable avec le nombre des couples, elle s'accroît beaucoup avec leur surface, comme on pouvait le prévoir.

46 couples simples ayant donné.............	235,
Trois séries semblables réunies pôle à pôle, ou 46 couples à grandes surfaces, la pile fonctionnant depuis une heure, ont donné......	385.

Ce qui nous a empêché de varier ces expériences autant

que nous l'aurions désiré, c'est l'affaiblissement assez rapide qu'éprouve la pile lorsqu'elle est montée depuis quelque temps, lors même que le circuit n'est pas fermé.

Ainsi,

80 couples ayant donné pour intensité...	238,
Les mêmes 80 couples, trois heures après, ont donné.....	159;
46 couples ayant donné	235,
40 couples une autre fois, la pile étant montée depuis deux heures, ont donné...................................	136,
Deux séries semblables pôle à pôle, ou 40 couples doubles, dans les mêmes circonstances.........................	238.

L'augmentation d'intensité avec la surface est ici remarquable.

La moyenne des deux premiers nombres 235 et 238 doit être regardée comme l'expression de l'intensité produite par une série de couples de Bunsen de la dimension indiquée en nombre compris entre 46 et 80, et dans les premiers temps de leur action; il faut ajouter la condition que le circuit sera fermé par le charbon très-dense que nous avons employé; car il nous a paru que les charbons d'une densité moindre produisaient une intensité moindre aussi.

Cette intensité peut être prise pour unité et comparée alors à l'intensité solaire du 2 avril; on a le rapport 1 : 4,23; la plus grande intensité 385 produite par 46 couples à grande surface, comparée de la même manière, donnerait le rapport 1 : 2,59; mais le nombre 385 est certainement trop faible, car il a été obtenu lorsque la pile fonctionnait depuis une heure, et dès lors avait dû s'affaiblir. Nous pensons rester au-dessous de la correction à faire en donnant le rapport 1 : 2,5.

Lumière produite par le gaz oxygène et hydrogène projeté sur de la chaux. — Nous avons trouvé pour son intensité un nombre d'une faiblesse inattendue; en effet,

L'intensité solaire, le 2 avril, étant................	1000,
L'intensité de la lumière du chalumeau à gaz a été trouvée..	6,85.

Ce nombre est le plus grand que nous ayons pu obtenir

en augmentant la pression sous laquelle s'échappait le gaz autant que le permettait l'appareil dont nous disposions; cette pression était produite par un poids de 20 kilogrammes sur une surface de 430 centimètres.

Quand on diminue la pression ou que l'on retarde par quelque obstacle la vitesse d'écoulement du gaz, l'intensité décroît rapidement; en effet nous avons substitué un orifice plus étroit, et l'intensité trouvée dans ce cas n'a plus été que 3,4.

Au lieu de diminuer l'orifice du chalumeau, nous avons réduit le poids à 8 kilogrammes; l'intensité est descendue à 0,86.

Avec le même orifice et le même poids, l'addition d'un tube de sûreté en plomb, qui permettait de placer le réservoir du gaz dans une pièce voisine, a réduit l'intensité à 0,54.

En prenant pour unité l'intensité maximum 6,85 et la comparant à celle de la lumière solaire et de la lumière de la pile, on trouve,

Avec l'intensité solaire, le rapport....	1 : 146;
Pour 46 couples à grande surface......	1 : 56;
Pour 46 couples ordinaires............	1 : 34,3.

Le procédé photométrique sur lequel reposent ces déterminations d'intensité donne en réalité la mesure des intensités chimiques des sources lumineuses, comme nous l'avons dit; or, la faible intensité trouvée pour la lumière produite par le gaz pouvait être expliquée en admettant que les intensités chimiques seraient très-différentes des intensités optiques dans les sources lumineuses que nous comparions; nous avons donc été conduits à tenter la mesure des intensités optiques par la voie ordinaire des comparaisons simultanées.

Des difficultés de mise en expérience nous ont empêché de donner à cette partie de notre travail l'étendue qu'elle méritait; cependant nous avons obtenu, dans la comparai-

son optique de la lumière produite par le gaz avec celle des charbons de la pile, des résultats assez nets.

Sans décrire en détail la disposition photométrique que nous avons adoptée, nous dirons qu'au moyen d'une lentille, les images des deux sources lumineuses venaient se former l'une à côté de l'autre sur un écran translucide, avec des dimensions égales à celles des objets lumineux ; chacun des faisceaux lumineux qui formait chacune des images était limité par un diaphragme ; l'ouverture de l'un de ces diaphragmes pouvait varier par degrés insensibles, de manière à permettre d'amener les deux images à la même intensité. Cette égalité étant obtenue, le rapport inverse des surfaces des diaphragmes donnait le rapport entre les intensités lumineuses.

Les deux surfaces lumineuses avaient, dans nos expériences, des dimensions sensiblement égales.

Les intensités optiques de la lumière émise par le chalumeau à gaz, comparée à la lumière produite par 46 couples, ont été trouvées, par cette méthode, dans les rapports suivants :

	1 : 26,5
	1 : 33,6
	1 : 37,7
Les intensités chimiques avaient été trouvées.	1 : 34,3

Bien que ces nombres soient assez différents, nous pensons que l'on peut en conclure que ces deux sources lumineuses possèdent des intensités optiques et des intensités chimiques qui sont sensiblement dans le même rapport.

Si l'on considère la grande différence d'intensité qui existe entre ces deux sources de radiations, et surtout la nature très-différente des causes physiques qui leur ont donné naissance, on est conduit à généraliser ce résultat et à regarder comme très-probable que les radiations lumineuses émanées de sources différentes, mais qui produisent de la lumière blanche, possèdent des intensités optiques et des intensités chimiques qui sont dans le même rapport.

Si l'on admet ce principe, les mesures d'intensité chimique que nous avons données dans ce travail, et qui se rapportent à la lumière solaire, à celle des charbons de la pile et à celle du gaz oxygène et hydrogène projeté sur de la chaux, seraient également les mesures des intensités optiques de ces sources lumineuses.

Nous avons observé, dans le cours de ce travail, quelques faits intéressants que nous allons rapporter.

1°. *Images solaires.* — Le diamètre de l'image solaire avec la distance focale dont nous disposions ($1^m,413$) avait seulement 13 millimètres de diamètre, et cependant, vers la fin d'août, nous avons eu, d'une manière très-distincte, l'image d'une tache assez grande qui traversait, à cette époque, le disque solaire. Nous ne doutons pas qu'à l'aide d'appareils optiques convenables, on n'obtienne ainsi des dessins précieux de certaines taches remarquables par leur forme et leur étendue.

Un autre fait s'est constamment présenté à nous, c'est un faible décroissement dans l'intensité des images du centre à la circonférence, mais surtout près des bords. Ce fait touchant à l'importante question des intensités relatives des bords et du centre du Soleil, nous nous proposons de répéter nos expériences à ce point de vue : nous comprenons en effet que cette simple remarque, faite incidemment dans nos recherches, n'a pas une valeur proportionnée à l'importance de la question.

2°. *Arcs lumineux de la pile.* — La lumière d'un bleu pourpré qui se produit entre les charbons possède une intensité chimique égale à un tiers environ de celle que possède la lumière émise par le pôle positif.

La formation de l'arc lumineux entre quelques métaux nous a présenté les résultats suivants avec 80 couples :

Tous les métaux que nous avons employés comme pôles ont produit des arcs de couleurs et d'intensités variables :

le *platine forgé* comme les autres métaux ; nous devons dire que M. de la Rive a observé le contraire avec ce corps.

Des particularités intéressantes se présentent lorsqu'un des pôles est terminé par du charbon, et l'autre par un métal. Le pôle positif étant de l'argent et le négatif du charbon, l'arc se forme facilement ; bientôt l'argent fond et distille abondamment ; dès lors on peut éloigner davantage le charbon négatif sans rompre l'arc lumineux, qui est d'une fixité et d'une beauté remarquables. Si l'on intervertit les pôles, le phénomène n'est plus le même. Dans les premiers instants l'arc se forme, comme précédemment, du charbon positif à l'argent négatif ; mais lorsque l'argent est entré en fusion, l'arc se brise. Si l'on cherche à le rétablir, on éprouve beaucoup de difficultés ; lorsqu'on y parvient pendant quelques instants, la partie de l'arc qui touche au globule d'argent s'agite avec un bruit particulier.

Le platine et le charbon présentent un phénomène analogue, mais à un degré beaucoup moins marqué.

Ce fait nous semble devoir être rattaché aux phénomènes de transport du pôle + au pôle —, étudiés avec tant de soin par M. de la Rive. Pour l'argent qui, comme l'on sait, absorbe de l'oxygène lorsqu'il est en fusion, la rupture de l'arc pourrait être attribuée à la combustion du charbon transporté au contact même de l'argent ; la crépitation singulière dont nous avons parlé appuierait cette manière de voir.

3°. L'explication que donna Davy de la nature des flammes éclairantes nous a conduits à essayer de fermer le circuit d'une pile de 40 couples par la flamme d'une bougie ; on observe alors les faits suivants : un faible courant s'établit, mais sans lumière, et l'on voit peu à peu le pôle négatif se couvrir d'un charbon très-léger qui se dépose sous forme d'arborisations.

Avec une pile de 80 couples le charbon se dépose de plus sur le pôle positif avec les mêmes apparences, mais en moindre quantité que sur le pôle négatif.

4°. Un phénomène particulier de lumière se présente lorsque l'on décompose l'eau avec des fils métalliques assez fins et une pile de 80 couples ; les fils s'échauffent sans rougir, s'ils sont d'un diamètre suffisant, mais les gaz qui les enveloppent sont alors lumineux, leur dégagement étant accompagné d'un bruit particulier. Le phénomène est le plus marqué au pôle négatif : on remarque que tant que les gaz sont ainsi lumineux, l'intensité du courant est beaucoup diminuée. Ce fait doit-il être rattaché aux phénomènes des arcs lumineux ? aurait-on ainsi, au pôle négatif, un arc formé par l'hydrogène ?

5°. Nous terminerons en appelant l'attention sur une modification remarquable éprouvée par le charbon lorsqu'il a supporté la très-haute température qui se développe pendant l'incandescence des pôles de la pile.

Le charbon très-dense qui provient de la distillation de la houille, et que nous avons employé, a des caractères physiques qui le rapprochent de l'espèce minérale appelée *anthracite* ; en examinant, après les expériences d'incandescence, le charbon transporté au pôle négatif et l'extrémité du pôle positif lui-même, nous avons remarqué que ses caractères physiques sont alors changés.

Ce charbon est mou, traçant ; sa surface, étant frottée, devient d'un gris plombé métallique. Ces caractères l'assimilent complétement à l'espèce minérale appelée *graphite ;* cette modification se fait très-rapidement, et s'obtient également avec d'autres espèces de charbons conducteurs. Il suffit de promener l'arc lumineux sur la surface d'un des pôles de charbon pour que cette surface soit à l'instant revêtue d'une couche de graphite.

Cette formation de graphite, sous l'influence d'une température très-élevée, nous semble devoir jouer un rôle important dans l'étude des masses minérales où se rencontre si fréquemment cette variété de charbon.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES. — MAI 1844.

JOURS.	9 HEURES DU MATIN.			MIDI.			3 HEURES DU SOIR.			9 HEURES DU SOIR.			THERMOMÈTR.		ÉTAT DU CIEL À MIDI.	VENTS À MIDI.
	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Maxim.	Minim.		
1	763,45	+17,0		763,20	+19,3		762,57	+20,5		764,20	+13,8		+21,0	+ 7,4	Beau	E.
2	765,13	+14,8		764,05	+17,9		763,18	+18,8		761,17	+14,8		+19,8	+ 9,0	Beau	E.
3	758,60	+12,8		757,84	+12,0		757,31	+ 9,6		756,89	+ 9,9		+14,0	+ 8,0	Couvert	N. N. O.
4	757,37	+12,0		756,84	+15,1		756,31	+15,8		756,97	+13,4		+16,4	+ 6,8	Très-nuageux	N. N. E.
5	755,71	+12,6		755,10	+13,7		753,30	+16,6		752,82	+14,1		+17,1	+ 8,5	Couvert	N.
6	751,04	+15,7		750,38	+18,5		750,10	+20,3		750,34	+13,9		+20,6	+10,7	Nuageux	N.
7	751,30	+13,7		751,29	+18,9		750,89	+20,4		753,87	+13,8		+20,4	+10,5	Nuageux	N. O.
8	755,46	+15,2		755,17	+20,0		754,34	+20,9		755,41	+14,6		+21,7	+ 9,5	Vaporeux	O. N. O.
9	756,15	+15,9		755,48	+19,4		755,21	+20,3		756,33	+16,1		+20,6	+ 9,4	Beau	N. N. O.
10	757,04	+15,1		756,24	+17,4		755,33	+18,2		755,15	+14,1		+19,1	+ 9,4	Nuageux	O. N. O.
11	754,30	+12,2		754,37	+13,2		753,91	+14,9		755,65	+10,8		+15,1	+ 8,9	Couvert	N. N. O.
12	758,82	+13,7		758,83	+14,9		758,31	+19,9		761,00	+14,1		+20,7	+ 9,0	Couvert	N.
13	763,48	+14,8		763,32	+17,5		762,61	+19,3		763,54	+15,4		+19,8	+10,3	Beau	N. N. E. fort.
14	763,68	+14,1		763,34	+17,2		762,29	+19,6		761,70	+14,2		+19,8	+ 9,2	Beau	N. N. E.
15	762,51	+11,6		760,75	+13,8		761,02	+12,0		761,81	+ 9,1		+14,7	+ 9,6	Nuageux	N. fort.
16	759,75	+11,2		758,06	+13,4		756,13	+15,8		754,92	+13,0		+16,2	+ 6,8	Beau	N. fort.
17	753,11	+11,4		752,06	+14,3		750,50	+16,0		750,41	+ 8,8		+16,9	+ 7,0	Nuageux	N.
18	749,02	+ 6,4		748,79	+ 7,0		748,63	+ 7,9		748,36	+ 7,0		+ 7,9	+ 5,8	Pluie	N. E.
19	747,65	+ 7,9		748,54	+ 9,7		749,04	+10,3		750,48	+ 9,7		+10,2	+ 6,2	Couvert	N. N. E. fort.
20	749,72	+ 8,4		750,48	+ 8,2		750,92	+ 8,1		752,25	+ 7,4		+ 8,9	+ 7,3	Pluie	N. fort.
21	752,46	+ 8,2		753,13	+ 8,7		753,90	+ 9,8		757,28	+ 6,6		+ 9,9	+ 6,5	Pluie	N. O.
22	759,40	+13,1		758,81	+16,6		757,95	+18,4		758,00	+13,3		+18,8	+ 3,8	Nuageux	N. N. O.
23	756,34	+14,0		755,60	+18,6		754,78	+20,8		755,02	+15,5		+21,5	+10,0	Beau	N. N. E.
24	754,14	+15,7		753,22	+17,5		752,02	+17,6		752,15	+13,0		+17,9	+10,4	Très-nuageux	N. E.
25	753,11	+11,9		753,01	+13,8		752,93	+13,5		755,26	+ 8,8		+15,0	+ 9,4	Couvert	N.
26	757,22	+ 9,2		757,11	+11,9		757,25	+11,1		758,42	+ 8,5		+12,2	+ 6,3	Très-nuageux	N. fort.
27	757,25	+ 9,7		756,22	+11,9		755,18	+11,4		754,84	+ 7,4		+13,0	+ 6,0	Pluie et grêle p. mom.	N. E. fort.
28	751,83	+ 9,4		751,81	+10,3		751,70	+10,7		752,21	+ 9,5		+10,7	+ 8,0	Couvert	E. N. E.
29	752,68	+11,2		752,34	+14,1		752,15	+14,0		753,08	+11,4		+15,0	+ 9,0	Couvert	O. N. O.
30	754,86	+13,6		755,06	+14,9		754,82	+15,7		755,72	+12,6		+16,6	+10,4	Couvert	N. N. O.
31	755,82	+12,5		755,37	+15,9		753,77	+18,8		753,91	+15,0		+19,0	+ 9,1	Très-nuageux	N. N. E.
1	757,12	+14,5		756,56	+17,2		755,85	+18,1		756,31	+13,8		+19,1	+ 8,9	... Moy. du 1er au 10	Pluie en cent.
2	756,20	+11,2		755,85	+12,9		755,34	+14,4		756,01	+10,9		+15,0	+ 8,0	... Moy. du 11 au 20	Cour. 7,822
3	755,01	+12,8		754,70	+15,4		754,22	+16,2		755,08	+12,2		+17,0	+ 8,9	... Moy. du 21 au 31	Terr. 5.567
	756,08	+12,8		755,67	+15,2		755,11	+16,2		755,78	+12,3		+17,0	+ 8,6	... Moyenne du mois...... + 12°,8	

DES COURANTS PRODUITS PAR L'INDUCTION DES COURANTS ÉLECTRIQUES INSTANTANÉS. — DE L'INFLUENCE QU'EXERCENT CERTAINES CIRCONSTANCES SUR L'INTENSITÉ ET LA DIRECTION DES COURANTS PRODUITS PAR L'INDUCTION LEYD-ÉLECTRIQUE;

PAR M. MARIANINI.

(Publié à Modène en mai 1839.)

Traduit par M. USIGLIO.

DEUXIÈME MÉMOIRE.

D'après ce qu'on a vu dans le dernier résumé, inséré dans le tome X des *Annales de Chimie et de Physique*, on peut diviser en deux classes les circonstances qui concourent à annuler l'induction leyd-électrique.

En effet, parmi ces circonstances, il en est qui n'influent que sur l'intensité des courants induits, d'autres qui influent à la fois et sur l'intensité et sur la direction de ces courants; les premières sont la dimension des conducteurs induits ou inducteurs, la distance qui les sépare l'un de l'autre, et leur inclinaison réciproque; les secondes sont la tension de la charge de la bouteille, sa capacité et la nature des conducteurs que la décharge électrique doit parcourir. C'est uniquement de ces dernières circonstances que je vais m'occuper dans ce Mémoire.

Je me suis servi, dans ces expériences, d'un ré-électromètre à aiguille suspendue, d'une extrême sensibilité. Les tensions des charges électriques sont notées en degrés de l'électromètre à double cadran.

PREMIÈRE PARTIE.

Influence de la tension et de la capacité des bouteilles de Leyde.

J'ai constaté que, toutes les circonstances qui influent sur l'induction leyd-électrique restant constantes, ainsi que

la distance qui sépare le fil inducteur du fil induit, on voit croître ou diminuer la force du courant induit, selon que la tension est plus ou moins forte. Mais cette variation de la force du courant n'est jamais en raison directe de la tension elle-même. J'ai déduit ce fait d'une série d'expériences faites au moyen d'une bouteille de médiocre capacité.

Voici quelques-uns des principaux résultats que j'ai obtenus :

Tension....	1	Déviation...	2°30'
	2		4. 0
	3		5. 0
	8,5		6.30
	18		14. 0
	23		16. 0

Lorsque la bouteille a une petite capacité, quelque faible que soit la tension de la charge, pourvu seulement qu'elle puisse produire une induction sensible, cette induction a toujours dans le fil induit une direction contraire à celle que le courant de la bouteille a dans le fil inducteur.

La bouteille dont je me suis servi dans les expériences que je rapporterai à l'appui de ce fait, avait une armature de 1 décimètre carré.

Pour plus de simplicité, nous indiquerons par le signe + les déviations du ré-électromètre qui marquent que le courant d'induction a dans le fil la même direction que la décharge dans le fil inducteur; et par le signe — les déviations qui indiquent le cas contraire.

Tension....	0,04	Déviation.	0° 0'
	0,08		0. 0
	0,1		— 0.20
	0,6		— 1. 0
	1,0		— 2. 0 environ.
	2,0		— 4. 0
	3,0		— 7.30

Lorsque la bouteille armé a une capacité moyenne, et qu'elle est chargée à une faible tension, elle détermine une induction qui a dans le fil induit une direction contraire à

celle que le courant inducteur a dans le fil qu'il parcourt. Mais, pour peu que cette tension augmente, on voit s'intervertir la direction du courant induit.

Voici les résultats que j'ai obtenus avec une bouteille de 5 décimètres carrés d'armature :

Tension...	0,08	Déviation.	0°30′
	0,1		— 1. 0
	0,4		— 2. 0
	0,7		— 1.30
	0,9		— 1. 0 à peine.
	1,2		à peine visible.
	1,7		+ 1. 0
	3		+ 3. 0
	5		+ 5. 0
	8		+ 6.30
	12		+ 8.30

Un carreau de Franklin de 1 décimètre carré d'armature, chargé à des tensions moindres que 5 degrés, produisit des inductions dirigées en sens contraire de la décharge. Mais, lorsque les tensions furent entre 5 et 8 degrés, il ne donna aucun indice de courant induit : et, quand il fut chargé à des tensions plus élevées, les courants induits reparurent, mais dirigés dans le même sens que les courants inducteurs; tandis qu'une bouteille, d'une beaucoup plus grande capacité, ne produisit des courants induits, dirigés en sens contraire des courants inducteurs, que jusqu'à la tension de $\frac{1}{5}$ de degré.

On peut déduire facilement de ce qui précède, que si l'on conserve constante la tension des bouteilles de Leyde, et que l'on fasse varier leur capacité, les intensités des courants induits varient aussi, mais non pas en raison de la capacité de la bouteille; il en est de même si des bouteilles de différente capacité sont chargées avec une même quantité d'électricité.

DEUXIÈME PARTIE.

Influence de la conductibilité du conducteur inducteur.

Nous avons déjà établi que, lorsque le courant d'une

bouteille de Leyde de médiocre ou de grande capacité, chargée à une tension moyenne, doit traverser, outre le conducteur métallique, une couche d'eau d'une longueur de 5 centimètres, et dont la section transversale est de 8 centimètres carrés, la direction du courant d'induction dans le fil induit est contraire à celle qu'il aurait s'il ne traversait pas la couche liquide. Je substituai de l'eau distillée à l'eau de puits, et la direction du courant induit fut la même ; mais, lorsque je mêlai à cette eau un peu d'acide sulfurique ou de sel, l'induction se dirigea dans le même sens que lorsque le conducteur était complétement métallique. Cette propriété n'appartient pas exclusivement à l'eau de puits et à l'eau distillée ; car en mêlant à ces eaux une quantité extrêmement petite d'un alcali, d'un sel ou d'un acide quelconque, j'ai encore obtenu l'induction *inverse* (1).

Donc tous les liquides qui ont une conductibilité peu différente de celle de l'eau distillée, exerçent la même influence sur la direction des courants induits. Mais il n'en est pas de même quant à l'énergie de ces courants. J'ai fait un grand nombre d'expériences, dans lesquelles j'ai tenu compte de l'énergie manifestée par le courant induit à mesure que je faisais croître la conductibilité de la couche liquide que le courant inducteur devait traverser. Voici les conséquences que j'ai pu en déduire :

1°. Toutes les fois qu'une induction peut se produire, le courant induit est toujours inverse, lors même que le liquide interposé dans le conducteur inducteur a très-peu de conductibilité.

2°. Si l'on augmente graduellement la conductibilité du liquide, on voit croître en même temps l'énergie du cou-

(1) L'auteur appelle *inverse* l'induction qui est dirigée en sens contraire du courant inducteur, et *directe* celle qui marche dans le même sens que ce courant.

rant induit jusqu'à un certain degré, au delà duquel l'augmentation de conductibilité du liquide fait diminuer l'intensité du courant, et finit même par la rendre nulle.

3°. Le degré de conductibilité du liquide, devant lequel disparaît toute trace d'induction, se trouve placé entre deux degrés très-rapprochés l'un de l'autre; mais il est encore très-loin de la conductibilité du conducteur inducteur lorsqu'il est entièrement métallique.

4°. Enfin, en augmentant encore la conductibilité du liquide, l'induction reparaît de nouveau, mais en sens contraire, et l'intensité de cette induction croît avec la conductibilité, tendant à se rappocher de l'intensité qu'elle manifeste lorsque le conducteur inducteur est entièrement métallique.

Pour obtenir ces renversements d'induction, il n'est pas nécessaire que le liquide soit en lui-même peu conducteur, car la longueur de la couche que le courant doit traverser peut contre-balancer l'excès de conductibilité. Dans une auge, contenant de l'eau salée avec $\frac{1}{10}$ de son poids de sel commun, j'ai plongé deux lames de laiton à une profondeur de 4 centimètres et distantes entre elles de 5 millimètres. J'ai déchargé à travers le conducteur inducteur une bouteille ayant une tension de 15 degrés, et j'ai obtenu une déviation de + 10 degrés. Mais, en plaçant les lames à une distance de 8 centimètres l'une de l'autre, avec la même décharge, j'ai obtenu une déviation de — 12 degrés. En faisant toujours usage du même liquide, et en conservant entre les deux lames une distance constante, j'ai obtenu un changement dans la direction du courant lorsque je faisais varier la profondeur à laquelle je plongeais les lames. De plus, en conservant constante la distance qui sépare les lames, et la profondeur à laquelle on les plonge, j'ai obtenu des inductions tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, selon que j'employais des lames plus ou moins larges.

Ayant donc constaté, par ces expériences, que les liquides produisent ce phénomène non en vertu de propriétés spéciales, mais uniquement parce qu'ils opposent un obstacle plus ou moins grand au passage rapide des décharges électriques, j'en conclus qu'on pouvait obtenir les mêmes résultats en se servant d'un conducteur entièrement métallique, pourvu que sa ténuité et sa longueur viennent contre-balancer sa trop grande conductibilité. L'expérience confirma cette prévision. En effet, après avoir pris un fil de cuivre argenté de l'épaisseur de $0^{mm},14$, et d'une longueur de 100 mètres, bien isolé, je le disposai de manière à ce qu'il fît partie du conducteur inducteur. J'y fis passer la décharge d'une bouteille ayant une tension de 5 degrés, et j'obtins une induction inverse, tandis qu'elle était directe lorsque ce long fil n'était plus ajouté au conducteur inducteur. Voici les résultats de quelques expériences faites en ajoutant des fils métalliques de différentes longueurs, et faisant varier la tension de la bouteille ordinaire :

Fil métallique long de 1500 mètres.

Tension de la bouteille.	5	Déviation.	— 3°30′
	7,5		— 2. 0
	10		— 1. 0
	11		— 0.30
	12		∓ 0. 0
	14		+ 2. 0
	16		+ 2.30

Fil métallique long de 1900 mètres.

Tension de la bouteille.	5	Déviation.	— 1° 0′
	9		— 1.30
	12		— 2. 0
	14		— 3. 0
	18		∓ 0. 0.
	21		+ 3. 0

On peut déduire de ces expériences :

1°. Qu'un long conducteur métallique peut aussi entraîner le renversement du courant induit dans la bouteille de médiocre ou de grande capacité ;

2°. Que plus ce conducteur est long, plus doit être forte la tension à laquelle on doit porter la bouteille pour obtenir ce renversement. Et je vis même que l'on pouvait étendre cette dernière déduction au cas où un conducteur liquide est interposé dans un conducteur inducteur. Voici donc la proposition la plus générale que l'on puisse déduire de tout ce que nous avons dit.

En diminuant graduellement la conductibilité du conducteur inducteur, de quelque manière que l'on opère cette diminution, on peut toujours parvenir à obtenir, au moyen d'une bouteille de médiocre ou de grande capacité, chargée à une tension moyenne ou forte, un courant d'induction dirigé dans le même sens que celui donné par une bouteille de petite capacité.

TROISIÈME PARTIE.

De la cause qui donne au courant d'induction leyd-électrique une direction tantôt contraire et tantôt semblable à celle du courant inducteur.

On sait que, dans l'induction volta-électrique, l'*invasion* ou la *cessation* du courant produisent, dans les conducteurs induits, deux courants d'induction en sens contraire l'un de l'autre; et l'on sait aussi que, dans la décharge de la bouteille de Leyde, l'*invasion* ou la *cessation* du courant se succèdent avec une telle rapidité, que l'on peut presque les regarder comme des phénomènes simultanés : je suppose donc que dans le courant leyd-électrique prédomine tantôt l'influence de l'*invasion*, tantôt l'influence de la *cessation*, et que c'est pour cela que l'on voit le courant se diriger tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre.

Mais, si ces phénomènes dérivent de la prédominance de l'*invasion* ou de la *cessation* du courant dans le conducteur inducteur, qu'arrivera-t-il lorsqu'une couche d'eau viendra s'interposer dans le conducteur induit? Il semblerait que cette modification devrait uniquement affaiblir le

courant induit, mais non changer sa direction. Et cependant, ayant interposé dans le conducteur induit de l'eau distillée, ou un autre conducteur humide assez imparfait, j'ai toujours obtenu, au moyen de la bouteille de Leyde ordinaire, des inductions dirigées en sens contraire de celles produites par le conducteur entièrement métallique.

Malgré cela, je pense que ces derniers résultats peuvent se concilier avec la proposition que j'ai énoncée, si l'on réfléchit que les inductions du ré-électromètre ne sont pas dues à l'action immédiate du courant induit sur l'aiguille aimantée, dont les déviations indiquent la direction du courant, mais qu'elles sont produites par l'aimantation que le fer acquiert en vertu du courant qui l'environne. Par conséquent, ce courant n'agit sur le fer que par une induction qui se trouve être ainsi de second ordre, et peut donc présenter aussi les mêmes inversions que l'on observe dans les courants de premier ordre : c'est-à-dire que, dans ce cas comme dans l'autre, prédomine, selon les différentes circonstances, tantôt l'invasion, tantôt la cessation du courant.

Mais nous rencontrons encore ici une nouvelle difficulté : car si le courant qui environne le fer agit lorsqu'il est induit comme s'il était inducteur, il est clair que, lorsqu'on fait circuler directement la décharge de la bouteille de Leyde autour du fer, elle doit aussi agir comme courant inducteur. Pourquoi donc, lorsqu'on aimante le fer au moyen de la bouteille de Leyde, n'observe-t-on aucun renversement dans le courant magnétique, quelle que soit la capacité de la bouteille employée, quelle que soit la tension de sa charge, lors même qu'avec une forte tension, on contraint le courant à traverser un mauvais conducteur, lors même enfin que ce courant est si faible qu'il ne détermine pas dans le ré-électromètre des déviations plus grandes que celles produites par le courant induit ?

Pour combattre cette objection, je ferai d'abord observer que l'aptitude du courant induit à aimanter le fer ne dérive

pas autant de la quantité d'électricité qui circule dans le conducteur induit, que de la capacité avec laquelle elle le parcourt. Et je prouve ce fait par l'expérience suivante : je mets un gros fil métallique de laiton isolé en communication avec un second ré-électromètre, aussi sensible que le premier ; puis j'en place un troisième également isolé au-dessus des deux autres, et à 1 décimètre de distance de chacun d'eux. Je fais traverser ce dernier fil par la décharge d'une bouteille de Leyde à la tension de 20 degrés. Ces deux ré-électromètres dévient de 10 degrés. Mais ensuite je laisse libre le second ré-électromètre, je fais à son tour communiquer le second conducteur avec l'hélice du premier ré-électromètre, c'est-à-dire de celui avec lequel le premier conducteur était d'abord en contact; et si ces communications sont faites de manière à ce que les deux courants induits soient obligés d'entrer dans l'hélice du même côté, lorsque je décharge la bouteille sur le conducteur inducteur, et dans les conditions que je viens d'indiquer, la déviation est encore de 10 degrés.

Dans ce dernier cas cependant, le courant induit qui traversait l'hélice était double; mais sa vitesse était celle d'un seul courant, et par conséquent l'effet ne différait pas de celui produit par ce seul courant.

En second lieu, je ferai observer que l'on ne peut pas établir de comparaison entre les courants des bouteilles faiblement chargées et les courants d'induction, lors même que les uns et les autres feraient dévier de la même manière l'aiguille du ré-électromètre : car les courants d'induction, étant produits par des courants beaucoup plus énergiques qu'eux, doivent en quelque sorte participer à cette énergie. Je cherchai donc à imiter les courants d'induction par les courants déviés, et cela de la manière suivante :

Je pris, pour décharger la bouteille de Leyde, une lame de plomb d'une longueur d'environ 3 mètres, et bien isolée. A une distance d'à peu près 5 décimètres d'une des extré-

mités, je courbai cette lame de manière à ce qu'elle pût entrer dans un verre d'eau distillée. A la distance d'environ 1 mètre de ce premier point, je courbai une seconde fois la lame pour qu'elle pût plonger dans un autre verre d'eau : dans chaque verre plongeait une des extrémités du fil du ré-électromètre, et ces extrémités se trouvaient placées à la distance de 1 centimètre de la lame de plomb; les choses étant ainsi disposées, je déchargeai à plusieurs reprises, et toujours dans le même sens, sur la lame de plomb, la petite et la grande bouteille, chargées à des tensions que je fis varier de 2 à 22 degrés, et les déviations produites dans le ré-électromètre par la grande bouteille variaient de 2 à 12 degrés, et étaient toujours en sens contraire de celles produites par la petite bouteille, qui variaient de 1 à 25 degrés.

Voici donc des courants qui se répandent directement sur le fil du ré-électromètre, et qui ont bien peu d'intensité puisqu'ils ne sont que de petites fractions de courants énergiques, mais qui, cependant, participent à la vitesse des courants qui les ont produits. Nous les voyons imiter les courants induits en aimantant le fer, tantôt dans un sens, tantôt dans le sens contraire, selon qu'ils dérivent des décharges de la grande ou de la petite bouteille.

Il me semble donc que nous n'avons, jusqu'à présent, trouvé rien de contraire à la supposition, que la prédominance de l'*invasion*, ou de la *cessation* des courants dans le courant conducteur inducteur, ou l'*annulation* de ces deux influences l'une par l'autre, cause les inductions différentes que nous avons observées, ou bien même l'absence de toute induction, phénomène qui, comme nous l'avons vu déjà, peut aussi se présenter souvent.

MÉMOIRE SUR LE COURANT QUI SE PRODUIT DANS UN CIRCUIT MÉTALLIQUE FERMÉ QUAND ON ARRÊTE LE COURANT VOLTAIQUE QUI CIRCULE PRÈS DE CE FIL.

(Lu à la réunion des savants italiens à Florence en 1841.)

Les contractions que l'on observe dans les fibres animales quand on interrompt le circuit électrique dont elles font partie, et le courant d'induction que le célèbre Faraday a observé dans un fil métallique quand on arrête le courant qui passe près de ce fil, et dans une direction qui lui soit parallèle, sont des phénomènes bien différents. Et c'est uniquement dans la manière dont ils se manifestent, que l'on peut trouver entre eux deux points d'analogie: l'une de ces analogies provient de ce que ces phénomènes sont tous deux causés par la cessation des courants voltaïques; l'autre, de ce que tous deux produisent le phénomène du courant en sens contraire. Afin de parvenir à étudier la cause de ces courants induits, je voulus voir s'il n'existait pas quelque autre analogie entre eux et les contractions musculaires.

On sait qu'on obtient des contractions lors même qu'on n'interrompt pas le circuit voltaïque, mais seulement qu'on détourne le courant de l'animal sur lequel il agit (1). Les choses se passent de même dans le phénomène de Faraday. Je formai, au moyen du fil d'un galvanomètre, le fil ou l'hélice sur laquelle devait agir, par induction, le courant voltaïque, et je fis plonger chacune des extrémités de l'hélice inductrice dans un godet de mercure, dans lequel plongeait aussi un des réophores de l'électromoteur. Lorsque j'interrompais le circuit en soulevant du mercure l'un des

(1) Voyez, dans le numéro du mois de mars 1829 des *Annales de Chimie et de Physique*, le § V de mon Mémoire sur les secousses qu'éprouvent les animaux au moment où ils cessent de former anneau de communication entre les pôles d'un électromoteur.

réophores, la déviation du galvanomètre indiquait aussitôt l'induction qui se produisait dans le circuit, que, pour abréger, nous appellerons *faradaïque*. Il en était de même si, au lieu d'interrompre le circuit voltaïque je le fermais mieux encore en mettant en communication, au moyen d'un arc de cuivre, le mercure de l'un des godets avec celui de l'autre; et cependant je déviais ainsi, sinon le courant entier, du moins la plus grande partie du courant. L'électromoteur employé dans ces expériences, et dans toutes celles qui seront rapportées dans ce Mémoire, était de 18 couples à la Wollaston; les lames de zinc plongeaient d'environ 18 pouces carrés de leur surface dans une eau mêlée de $\frac{1}{30}$ d'acide nitrique et autant d'acide sulfurique.

Les contractions ont lieu lors même qu'on ne fait dévier des muscles de l'animal, qu'une partie du courant, tandis que l'autre partie ne cesse pas de circuler. Je répétai l'expérience que je viens de décrire; mais au lieu de mettre ces godets de mercure en communication entre eux, je mis le liquide de la seconde ou de la troisième auge de l'électromoteur en communication avec le liquide de la pénultième ou de l'antépénultième, et j'obtins toujours, dans le galvanomètre, l'indice d'induction.

On obtient aussi cette induction sans dévier en rien le courant voltaïque de l'hélice, mais seulement en ralentissant de beaucoup son cours. En effet, après avoir couvert d'une couche d'eau de plusieurs millimètres d'épaisseur le mercure dans lequel plongeait l'un des réophores, je soulevai seulement ce réophore, et, dès qu'il avait cessé d'être en contact avec le mercure, je voyais l'aiguille du galvanomètre indiquer la présence du courant indirect. Dans une expérience analogue, je vis la contraction de la grenouille avoir lieu en ralentissant le courant voltaïque qui la traversait.

Pour que la grenouille se contracte lorsqu'on interrompt le cercle voltaïque dont elle fait partie, il n'est pas néces-

saire qu'elle se soit contractée lorsqu'on a fermé le circuit (*voyez* le § VI du Mémoire cité). Il n'est pas non plus nécessaire, pour que le courant faradaïque se produise lorsqu'on rompt le circuit, qu'il ait eu lieu lorsqu'on l'a fermé.

Et, pour démontrer ce fait, on plonge les couples de l'électromoteur dans l'eau pure, et une fois le cercle fermé (ce qui ne fait naître aucune induction sensible à cause de la lenteur du courant), l'on ajoute, peu à peu, la quantité ordinaire d'acide, et le courant devient alors assez énergique pour que l'induction ait lieu lorsqu'on interrompt le circuit.

Ces nombreuses analogies, dans les différentes manières dont se manifestent ces deux phénomènes, me firent espérer, de prime abord, qu'il pouvait également exister quelque rapport entre les causes qui les produisent, si même tous deux ne proviennent pas de la même cause; et aussitôt ma pensée se reporta vers ce *reflux* d'électricité qui, je crois, a lieu dans les organes des animaux lorsqu'on interrompt le circuit électrique, reflux par lequel j'explique plusieurs phénomènes physiologiques. Mais l'expérience de Faraday, dans laquelle, en éloignant seulement le fil inducteur du fil induit, on obtient l'induction tout comme lorsqu'on interrompt le circuit voltaïque, détruisait toute espérance de pouvoir expliquer le nouveau phénomène par un *reflux* d'électricité qui avait lieu dans le conducteur inducteur au moment où l'on interrompt sa communication avec les piles de l'électromoteur.

On sait que le savant Anglais, pour expliquer ce phénomène découvert par lui, imagina un nouvel état électrique de la matière, qu'il appela *état électro-tonique*, et que deux savants italiens, MM. Antinori et Nobili, supposèrent qu'il dépendait d'un déplacement secret de molécules produit par le courant voltaïque dans le fil métallique qui est près de lui. Si je ne me trompe, il n'est pas nécessaire d'avoir recours à de nouvelles hypothèses, à de nouvelles pro-

priétés du fluide électrique, pour expliquer le phénomène dont nous parlons; car les lois déjà connues de l'induction électrique suffisent pour éclairer cette question.

Je pense donc que, puisque le courant d'induction que l'on observe quand on ferme le cercle voltaïque, a été attribué à la tension que le fil conducteur produit dans les différents points du fil qui est près de lui, on peut de même attribuer le courant inverse qui a lieu, quand on ouvre ce circuit, à une tension contraire à la première, et qui se produirait à cet instant dans ce même fil. Je pense que la cause est ici un déplacement d'électricité, et que, dans tous ces faits, on ne trouve que des phénomènes semblables à ceux produits par cette électricité, que Volta a appelée de *pression* ou d'*induction*.

Voici quelques idées et quelques expériences qui me semblent devoir appuyer mon opinion :

Au moment où l'on ferme le circuit voltaïque, la tension que le fil conducteur acquiert successivement dans ses divers points produit, dans le fil qui est près de lui (que pour abréger nous appellerons faradaïque), un déplacement d'électricité, une tension que Volta appellerait accidentelle, et qui, ayant lieu successivement dans les différents points de sa longueur, imite tellement un courant que le galvanomètre en donne l'indice. Mais cette tension est bientôt contre-balancée par l'électricité réelle et contraire que le fil faradaïque reçoit des corps qui l'environnent, et de là vient la durée instantanée de ce courant. La tension accidentelle cesse-t-elle par la cessation du courant voltaïque, aussitôt se manifeste la tension réelle et contraire qui, à son tour, disparaît bientôt, car l'électricité se transmet rapidement aux corps voisins, et le fil faradaïque revient à l'état naturel.

Si les choses se passent comme je l'imagine, si le courant voltaïque ne fait que produire une tension accidentelle dans le fil faradaïque, il la produira aussi quand ce fil

ne sera pas fermé, bien que, dans ce cas, il ne puisse y avoir aucune répétition de cette tension successive, aucun courant. Après quelques instants, la tension réelle et contraire que ce fil reçoit des corps environnants le constitue à l'état d'équilibre. Par conséquent, si nous interrompons le circuit voltaïque (ce qui détruira l'équilibre dans le fil et produira la tension contraire), et que nous fermions ensuite rapidement le cercle faradaïque avant que son électricité ait eu le temps de se répandre sur les corps voisins, nous aurons l'indice d'un courant induit semblable à celui qui se manifeste quand le courant voltaïque cesse, lorsque le circuit faradaïque est fermé. Ce fait m'a été confirmé par l'expérience suivante.

Je fermai le circuit voltaïque pendant que le circuit faradaïque était ouvert, et, comme je devais bien m'y attendre, je n'observai aucun mouvement dans l'aiguille du galvanomètre; mais, aussitôt après avoir interrompu le cercle voltaïque, je fermai rapidement le cercle faradaïque, et je vis le galvanomètre dévier de 5 degrés, et m'indiquer, par sa déviation, un courant induit dans le fil faradaïque, dirigé dans le même sens que le courant que l'on obtient quand on ouvre le circuit voltaïque pendant que l'autre est fermé.

Cependant, et cela doit être, dans cette expérience la déviation est bien moindre que la déviation ordinaire, et même si l'intervalle entre l'ouverture d'un circuit et la clôture de l'autre n'est pas extrêmement court, on n'obtient aucun indice de courant.

Afin de rendre cet intervalle le moindre possible, je fis adapter, à chaque extrémité de chaque fil, une bascule avec des appendices métalliques, de manière que, lorsque les appendices de droite plongeaient dans un godet de mercure, le circuit voltaïque était fermé, et, lorsque ceux de gauche plongeaient dans un autre godet, c'était le circuit faradaïque qui se trouvait fermé. Pour donner une idée de la rapidité avec laquelle ces deux opérations se suivaient, je

dirai que, lorsque l'appendice qui formait le circuit voltaïque cessait d'être en contact avec le mercure dans lequel il plongeait, et à l'instant où jaillissait l'étincelle, l'autre appendice était encore éloigné de 1 millimètre du mercure dans lequel il allait plonger pour former le circuit faradaïque, et le mouvement de bascule s'exécutait très-brusquement.

Qu'arrivera-t-il si, lorsque les deux circuits étant tous les deux interrompus, on ferme d'abord le circuit voltaïque, et un instant après le circuit faradaïque? A l'instant où l'on ferme le circuit voltaïque, se développe, dans le circuit faradaïque, l'électricité accidentelle qui est aussitôt contre-balancée par l'électricité égale et contraire que les corps voisins lui communiquent. Par conséquent, si, avant que cet équilibre soit complet, nous fermons le circuit faradaïque, nous aurons des indices de la tension qui en résulte, et du courant que cet afflux d'électricité produit dans ce circuit. Et, dans ce cas, le galvanomètre doit indiquer encore un courant analogue à celui que l'on obtient lorsqu'on ouvre le circuit voltaïque pendant que le circuit faradaïque est fermé : l'expérience est venue confirmer cette déduction. J'ouvris le circuit faradaïque, c'est-à-dire j'interrompis la communication entre l'hélice induite et le galvanomètre, puis je fermai le circuit voltaïque, et de suite après, le circuit faradaïque. La déviation du galvanomètre fut de 10 degrés, et contraire à celle que l'on observe quand on ferme le premier de ces deux circuits, tandis que l'autre est déjà fermé. Si le temps écoulé entre la clôture d'un circuit et celle de l'autre était d'une demi-seconde, la déviation du galvanomètre était nulle. Si cet intervalle était plus court, la déviation était immanquable, et toujours d'autant plus considérable, que cet intervalle de temps était plus court. Cette expérience réussit plus facilement, et donne des déviations plus grandes que l'expérience précédente.

Comment expliquer les résultats de cette seconde expérience par l'hypothèse de l'*état électro-tonique* de la matière? Pourquoi, quand nous fermons le circuit faradaïque une demi-seconde après que le circuit voltaïque est fermé, n'avons-nous pas d'indice de courant? Dirons-nous peut-être que le circuit faradaïque étant ouvert, cet intervalle de temps est nécessaire pour le placer dans cet état électro-tonique? Non, car si cela était, on devrait, en fermant plus rapidement le circuit, obtenir une induction plus faible, il est vrai, mais ayant la même direction qu'elle aurait eue si ce circuit avait été fermé au moment où l'on ferme le circuit voltaïque. Et, au contraire, nous ob enons une induction dirigée en sens inverse. Dirons-nous qu'en fermant le circuit voltaïque pendant que l'autre est ouvert, l'état électro-tonique ne se manifeste ni au premier instant ni plus tard? Non, car la première des deux expériences que nous venons de décrire combat cette proposition. Mais il me semble, qu'au moyen de la supposition que nous avons faite, nous pouvons expliquer ces phénomènes sans beaucoup de difficulté.

Je terminerai en décrivant une expérience au moyen de laquelle j'imite en quelque sorte, avec l'électroscope, les états électriques que prend le circuit faradaïque, lorsque l'on ferme ou que l'on interrompt le circuit voltaïque qui est près de lui.

Je dispose un électroscope de Bonenberg, de manière que la feuille d'or, suspendue entre les pôles de la pile zambonienne, soit assez éloignée de ces deux pôles pour que, quand on présente à la distance de 1 décimètre du sommet de l'instrument, un morceau de cire d'Espagne ou de verre électrisé, cette feuille s'incline de l'un ou de l'autre côté sans toucher le pôle dont elle s'approche, et sans même en être assez près pour pouvoir absorber facilement de l'électricité. Cela fait, au moyen d'une bande de papier large de 3 ou 4 centimètres, et longue de 2 ou 3 décimètres, je fais

communiquer le sommet de l'instrument avec la table non isolante sur laquelle il se trouve placé; puis j'approche rapidement, à 1 décimètre de ce sommet, un morceau de verre électrisé, et la feuille d'or s'incline aussitôt vers le pôle négatif de la pile; mais un moment après elle reprend sa position verticale, qu'elle conserve tant que le verre électrisé demeure près de l'instrument. Si j'éloigne assez rapidement le verre, la feuille d'or se porte aussitôt vers le pôle positif pour reprendre, peu d'instants après, sa position naturelle.

Dans la première partie de cette expérience, nous avons, pour ainsi dire, l'embryon ou l'élément du courant d'induction volta-électrique qui a lieu au moment où l'on ferme le circuit voltaïque. Mais la déviation de la feuille d'or ne dure que quelques instants; car, au moyen du papier, l'état électrique de la feuille est bientôt remis en équilibre par l'électricité contraire communiquée par les corps voisins.

Dans la seconde partie de l'expérience, c'est-à-dire pendant tout le temps qu'on laisse le verre inducteur près de l'électroscope, nous avons, dans la feuille d'or, un état électrique semblable à celui dans lequel se trouve le fil faradaïque tant que le circuit voltaïque, qui est près de lui, est fermé.

Le savant Anglais appelle cet état *électro-tonique*, tandis que je pense qu'il se passe, dans cet intervalle de temps, un phénomène d'électrostatique proprement dite (1) : car ici le verre, et dans l'expérience de Faraday, le fil conjonctif électrise dans un sens, et les corps environnants électrisent en sens contraire, et avec une égale énergie, la feuille d'or et le fil induit.

(1) Je dis phénomène d'électrostatique proprement dite, parce que plusieurs physiciens d'aujourd'hui appellent électrostatique la partie de la science de l'électricité qui traite des phénomènes électriques provenant du frottement. Cette dénomination me semble impropre, car dans plusieurs de ces phénomènes, on est bien loin d'avoir équilibre de forces électriques.

Enfin, dans la troisième partie de cette expérience, nous avons l'élément du courant faradaïque qui se développe au moment où le courant voltaïque cesse d'agir sur le fil induit.

Je terminerai en résumant ce que nous avons dit dans ce Mémoire.

1°. Bien qu'on aperçoive plusieurs analogies frappantes entre le courant qui se développe dans un fil métallique fermé, quand on interrompt le circuit voltaïque qui est près de lui, et les contractions qu'éprouve la grenouille quand on interrompt le circuit voltaïque dont elle fait partie, cependant ce courant ne peut être attribué à un *reflux* d'électricité qui aurait lieu dans le fil qui réunit les pôles de la pile au moment où l'on interrompt le circuit, tandis qu'il semble possible d'attribuer à cette cause les contractions de la grenouille.

2°. La supposition d'un état électro-tonique du fil faradaïque pendant le circuit voltaïque ne semble pas pouvoir expliquer tous les phénomènes que nous avons observés dans ce fil.

3°. Les faits relatifs aux inductions volta-électriques s'expliquent plus aisément si on les considère comme des modifications des phénomènes déjà connus de la tension produite par l'induction.

MESURE DE LA FORCE NERVEUSE DÉVELOPPÉE PAR LE COURANT ÉLECTRIQUE;

Par M. Ch. MATTEUCCI.

Dans mon Mémoire sur le courant électrique musculaire, j'ai décrit une expérience faite avec une pile de quatre grenouilles vivantes. C'était la seule expérience dans laquelle j'avais démontré l'existence de ce courant dans les animaux vivants avec les mêmes lois trouvées en opérant sur les muscles

des animaux récemment tués. Après l'étude de ce courant, et surtout en comparant la durée différente de ses signes après la mort avec les muscles des différents animaux, j'avais conclu que le courant musculaire s'affaiblit après la mort, d'autant plus vite que les animaux sont plus élevés dans l'échelle, et que cet effet est plus marqué dans les premiers instants après la mort (*voyez* mon Traité sur les phénomènes électro-physiologiques, page 72). Il était important d'étudier sur d'autres animaux *vivants* le courant musculaire, afin de conclure plus exactement quelle est la source de ce courant, quelle est son intensité dans l'état de vie. Un grand nombre de difficultés dans les expériences, difficultés qu'il est facile de concevoir, m'ont toujours empêché de poursuivre cette étude autant que je l'aurais désiré. Je crois pourtant que le petit nombre d'expériences que j'ai pu faire est suffisant pour prouver ce que j'avais déjà été amené à conclure par le raisonnement, c'est-à-dire que l'intensité du courant musculaire, dont les signes après la mort persistent d'autant plus que l'animal est plus bas dans l'échelle, est au contraire, dans l'animal vivant, proportionnelle au rang de l'animal dans la même échelle. Voici en peu de mots la disposition de cette expérience : je coupe à moitié les ailes d'un pigeon et je passe autour de son corps, à plusieurs doubles, un bandage en toile. De cette manière, le pigeon enveloppé ne peut plus bouger, il reste immobile, le dos étendu sur une planche. J'ai préparé quatre autres pigeons également, et je les ai mis à côté l'un de l'autre; j'enlève la peau des jambes rapidement et je coupe une tranche de muscle avec un rasoir sur une jambe de chaque pigeon ; cette jambe doit être pour les cinq pigeons ou leur droite ou leur gauche. Alors, je réunis la jambe blessée de chaque pigeon à la jambe intacte du pigeon contigu, et je passe rapidement une ligature assez serrée autour des deux jambes. On conçoit aisément qu'on parvient ainsi à disposer les cinq pigeons en pile, de manière à avoir à une

extrémité une jambe intacte, et à l'autre extrémité une jambe blessée. Je couvre ces deux extrémités avec un morceau de papier imbibé d'eau pure, et je touche rapidement ces deux extrémités de la pile couverte de papier, avec les lames du galvanomètre.

Je crois inutile de dire que l'expérience doit être faite avec toutes les précautions que j'ai décrites minutieusement dans le troisième chapitre de mon ouvrage déjà cité. J'ai obtenu dans l'expérience décrite, 15 degrés d'un courant dirigé dans l'animal, de l'intérieur du muscle à la surface, ce qui est bien la direction du courant musculaire. Ce courant a diminué rapidement, tout en restant toujours dans le même sens, et à la troisième expérience il n'était plus que de 6 degrés. Je me suis aperçu qu'une des causes principales de la diminution était la présence du sang coagulé dans le point du contact des deux jambes ; car j'ai vu augmenter de nouveau le courant en rétablissant la pile, après avoir nettoyé les blessures du sang coagulé. Après un quart d'heure, un des pigeons était mort, et les autres n'auraient pas tardé à l'imiter si l'on n'avait pas coupé le bandage. Le sang versé par la blessure et la gêne de la respiration ont produit ces effets. Dans l'espoir de mieux réussir dans ces expériences, j'ai essayé de couper la tranche musculaire sur une jambe à plusieurs pigeons, et puis de couvrir la plaie avec un bandage légèrement trempé dans l'huile. Après trois ou quatre jours, la plaie est couverte d'une croûte qu'on peut enlever aisément, et qui laisse voir une plaie rouge qui ne saigne presque pas. Avec quatre pigeons ainsi préparés, j'ai composé une pile exactement comme la précédente, et j'ai opéré de la même manière. En fermant le circuit dans trois expériences à l'intervalle de plusieurs minutes l'une de l'autre, j'ai obtenu 25, 15, 7 degrés d'un courant toujours dirigé de l'intérieur du muscle à la surface de l'animal.

Je dois faire observer que les pigeons m'ont montré dans cette expérience la même difficulté dans la respiration que ceux de la première. J'ai donc défait rapidement la pile, et

les pigeons se sont rétablis. J'ai renouvelé la blessure légèrement, et après quelques jours, j'ai répété l'expérience sur les mêmes pigeons, et j'en ai obtenu les mêmes résultats. Si l'on se rappelle maintenant qu'une pile du même nombre de grenouilles vivantes ne donne jamais plus de 10 à 12 degrés, on devra conclure nécessairement que le courant musculaire est plus fort dans le pigeon que dans la grenouille à l'état de vie; et cette différence deviendra d'autant plus grande en réfléchissant que la surface des plaies est presque la même dans les grenouilles que dans les pigeons; tandis que la résistance du circuit composé de pigeons est bien plus grande que celle du circuit composé du même nombre de grenouilles.

Dans ma Lettre à M. Dumas, insérée dans le *Compte rendu* de la séance du 11 mai 1844, j'avais jugé que la résistance du circuit des pigeons était pour le moins quatre fois plus grande qu'avec le circuit des grenouilles; mais les expériences que j'ai faites par la suite m'ont prouvé que la différence était beaucoup plus forte. On doit donc conclure que l'intensité du courant électrique musculaire augmente avec le rang que les animaux occupent dans l'échelle, et qu'il suffit d'empêcher ou de gêner la respiration et la circulation du sang pour détruire ou affaiblir les signes de ce courant.

Tout cela prouve encore mieux que je ne l'avais fait dans mes travaux précédents l'origine du courant musculaire qui se réduit, en peu de mots, aux changements chimiques qui s'opèrent dans la transformation et dans la nutrition de la substance musculaire pendant la vie. En effet, il est bien facile de démontrer que les signes du courant musculaire cessent quelque temps après la mort, de sorte que l'action chimique qui donne origine à ce courant ne se fait que pendant la vie. Ce résultat ne doit pas étonner lorsqu'on réfléchit que dans toutes les actions chimiques le courant électrique se développe; mes expériences n'ont servi qu'à généraliser ce principe de physique.

Mais quel peut être le rôle de ce courant dans la vie? Ce courant, qui n'est manifesté que par la disposition de l'expérience, qui ne circule pas naturellement dans les masses musculaires, qui est dû en origine à des états électriques appartenant aux éléments de la fibre musculaire vivante, comme Ampère les supposait dans les molécules des aimants, peut-il exercer quelque influence dans les fonctions des nerfs? N'oublions pas que la force nerveuse, toute distincte qu'elle est du courant électrique, peut, dans les poissons électriques, dégager de l'électricité en agissant sur un organe particulier; rappelons-nous encore que le courant électrique peut encore exciter la force nerveuse en suivant des lois très-simples dans cette action. Ainsi, les analogies que nous admettons en physique entre la chaleur, l'électricité et la lumière se trouvent dans le même degré entre l'électricité et la force nerveuse. C'est en partant de ce point de vue, que j'ai cru du plus grand intérêt de résoudre ce problème : quelle est la quantité des forces nerveuses qui peut être développée par une quantité donnée d'électricité? Je poserai plus clairement ma question. Je fais passer un courant électrique le long des nerfs d'un animal, en ayant un voltaïmètre dans le circuit; je mesure l'effort musculaire qui est excité par le passage du courant, et en supposant que le circuit soit interrompu au moment même que la contraction a cessé, je puis mesurer la quantité d'électricité qui est passée, en connaissant la quantité d'eau qui est décomposée, et déduire par là la quantité de zinc qui, en s'oxydant, a développé le courant qui, dans son passage par les nerfs, a produit l'effort musculaire trouvé.

Il ne sera pas difficile de concevoir toutes les difficultés qui peuvent se présenter dans une recherche de cette nature, et je n'ai pas l'espoir d'avoir atteint l'exactitude qu'on doit désirer dans toutes les recherches de physique. Toutefois je décrirai minutieusement ma manière d'opérer, et on verra que les nombres auxquels je suis parvenu, toujours

approximatifs, pèchent par le même défaut, c'est-à-dire que toutes les causes d'erreur introduites par l'expérience tendent à diminuer ces nombres. Je commencerai par décrire la méthode que j'ai suivie dans ces expériences.

Après un grand nombre d'essais, j'ai dû me convaincre que, parmi tous les animaux, c'est la grenouille qui se prête le mieux à ces recherches. J'ai opéré toujours sur la grenouille récemment préparée à la manière de Galvani; sans cela je n'aurais pu distinguer l'effet produit simplement par l'action du courant sur les nerfs, et excitant ainsi la contraction musculaire, de l'autre qui se serait peut-être ajouté à celui-ci et dans lequel la volonté de l'animal serait intervenue. D'ailleurs, opérant sur la grenouille qui conserve pendant longtemps, et plus que tous les autres animaux, un fort degré de vitalité, c'était bien me mettre à même de déterminer quel aurait été l'effet du courant électrique sur les nerfs, excitant la contraction musculaire indépendamment de tout acte de volonté. Voici comment j'ai disposé l'expérience : j'ai une grosse pince en laiton fixée solidement sur une colonne de bois; je prépare rapidement une grenouille à la manière de Galvani, ce qui consiste, comme on sait, à la couper en travers immédiatement au-dessous de ses membres supérieurs, à lui enlever la peau et toutes les entrailles. De cette manière, on a les deux membres inférieurs réunis par le bassin à un morceau de colonne vertébrale. J'introduis ce morceau dans la pince que je ferme ensuite sans trop serrer, de peur de voir la grenouille tétanisée. Je lie ensemble, avec un fil de soie, les extrémités inférieures, précisément au tarse, et j'attache au nœud formé par le fil de soie un crochet en fil de fer long de $0^m,05$, et à l'extrémité duquel est attaché un petit cube en plomb. Le poids du crochet et du cube de plomb est de $5^{gr},5$; sur ce cube de plomb est fixé, avec de la cire, un petit brin de paille qui sert d'index.

Enfin, ce même cube est introduit sans frottement dans une fente faite dans une planche de bois, sur les bords de

laquelle est fixée une échelle en millimètres. Une aiguille en cuivre est introduite dans les muscles du bassin et précisément au contact des cuisses, *Pl. IV, fig.* 1. On voit très-aisément qu'en touchant avec le réophore d'une pile la pince de laiton, et avec l'autre l'aiguille de cuivre, le courant passera à travers le bassin et, par conséquent, à travers les nerfs lombaires. La grenouille se contracte, le poids est soulevé et l'index monte d'un certain nombre de millimètres qu'on parvient à lire aisément avec un peu d'habitude. Ordinairement, j'attache le crochet de fer à la substance même du tarse, sans employer le fil de soie, pour lier ensemble les deux jambes.

Dans quelques expériences dans lesquelles je ne voulais pas déterminer l'effort musculaire de la grenouille, mais lire avec plus de précision la quantité du soulèvement, j'ai employé un appareil tout à fait semblable à un hygromètre de Saussure, *fig.* 2. Le crochet en fil de fer est attaché, d'une part, aux jambes de la grenouille, et, de l'autre, au bras court du levier, qui forme l'index. Au même bras court de ce levier est attaché le petit poids en plomb. Lorsque la grenouille se contracte, l'index tourne en bas sur le cadran, et l'on peut lire très-exactement le degré où il arrive, en employant dans deux ou trois expériences successives un point d'arrêt qu'on fait glisser sur le cadran.

Dans une première série d'expériences, j'ai voulu commencer par me faire une idée de la manière d'agir de cet appareil, et j'ai introduit dans le circuit de la pile une roue de Masson, à l'aide de laquelle je pouvais varier à volonté la durée du passage du courant. Après un grand nombre d'essais, j'ai trouvé qu'on pouvait renouveler le passage du courant au moment même où, la contraction ayant eu lieu, les membres étaient revenus à la position d'où ils étaient partis avant l'introduction du courant. J'ai trouvé que cela avait lieu dans les temps suivants : la contraction et le passage du courant durent pendant 32 centièmes de seconde, et 68 centièmes de seconde sont employés par la grenouille

pour revenir à sa position. En opérant ainsi, la grenouille ne se contracte jamais en ouvrant le circuit. On trouve aussi qu'en terme moyen on peut faire faire 100 contractions successives dans le temps susdit, sans altérér sensiblement la vitalité. Je ne veux pas dire pour cela, comme on le verra par la suite, que le poids soit soulevé de la même quantité dans toutes les 100 contractions successives, mais seulement que la grenouille revient, après ce nombre de contractions, à la même position d'où elle était partie, et qu'en la laissant en repos pendant quelques secondes, on obtient la même contraction qu'on avait obtenue au commencement.

En variant ces expériences avec des piles d'une force différente, on ne tarde pas à reconnaître que l'effort musculaire qu'on fait faire à la grenouille par le passage d'un courant dans les nerfs lombaires ne peut pas dépasser une certaine limite, c'est-à-dire plus simplement, que cet effort musculaire n'est proportionnel à la force du courant que dans certaines limites. C'est ainsi qu'on trouve qu'un courant d'un seul couple de la pile de Bunsen, interrompu dans l'eau acidulée, excite le même effort musculaire dans la grenouille qu'une pile de 6 couples. Afin d'établir la proportionnalité entre la force du courant et l'effort musculaire qu'il excite et les limites dans lesquelles cette proportionnalité peut se varier, j'ai opéré de la manière suivante.

J'ai pris un élément de Bunsen et j'ai opéré avec l'appareil, *fig.* 2; le circuit était interrompu dans de l'eau acidulée, et l'intervalle liquide pouvait être changé à volonté. J'ai trouvé qu'en augmentant successivement la longueur de la couche liquide, l'effort musculaire excité cessait d'être constant et commençait à diminuer. On s'arrête alors à ce point, on ajoute une autre grenouille comme l'autre serrée dans la pince, et l'on fait que l'aiguille de cuivre traverse la base du bassin de la seconde grenouille. Il est clair alors qu'en faisant passer le courant, il n'en passera plus que la moitié à travers les nerfs lombaires de la pre-

mière grenouille. En ajoutant une troisième grenouille, cette quantité se réduirait à un tiers, et ainsi de suite. Dans mon appareil, je puis disposer quatre grenouilles dans le même temps.

Les résultats auxquels je suis parvenu après un grand nombre d'expériences me permettent de conclure que, lorsque le courant est réduit à la limite, c'est-à-dire qu'on ne peut plus le diminuer sans que l'effort musculaire excité devienne plus faible, cet effort est réduit à la moitié par un courant $\frac{1}{2}$, à un tiers par un courant $\frac{1}{3}$, à un quart par un courant $\frac{1}{4}$; en un mot, l'effort musculaire se trouve proportionnel à la force du courant qui l'excite.

Cette première loi étant établie, je pouvais bien aborder la question que je me suis posée d'abord, c'est-à-dire quelle est la force musculaire ou la quantité du travail dynamique qui peut être développé par un courant électrique quand on connaît la quantité de zinc qui lui donne origine, et qu'on le fait agir sur les nerfs lombaires d'une grenouille récemment préparée. Voici les données de l'expérience : j'ai employé l'appareil, *fig.* 1, et j'ai fait faire à une grenouille 100 contractions successives, en prolongeant chaque fois le passage du courant 0",32 et en la laissant revenir avant de renouveler le passage du courant dans les autres 0",68. J'ai employé la roue de Masson pour agir avec toute la régularité possible, mais il faut dire qu'on y parvient également par une longue habitude, en tenant le réophore à la main et en touchant immédiatement l'aiguille de cuivre enfilée dans le bassin de la grenouille. L'interruption du circuit dans l'eau acidulée se faisait, dans ce cas, avec un voltaïmètre. J'ai employé une pile beaucoup plus forte que celle qui donne le maximum d'effort musculaire. Nous verrons par la suite comment on peut se réduire au courant de la force limite, toujours capable de donner le même effort musculaire. La pile employée se composait de 6 éléments de Bunsen. Lorsqu'une grenouille avait donné 100 contractions, je la rejetais pour en prendre une autre récemment préparée. Je dirai que plus de 2000 gre-

nouilles ont été successivement employées dans ces expériences. Pendant 100 contractions, on peut dire, sans crainte d'erreur, que le poids attaché aux jambes des grenouilles est soulevé de 4 millimètres dans les dix premières contractions, de 3 millimètres dans les vingt contractions successives, et de 2 millimètres dans les soixante-dix restantes. Ces nombres sont aussi exacts qu'il est possible de l'espérer dans ce genre d'expériences, et n'ont été pris que parmi les nombres les plus bas donnés par l'expérience. Voici comment a été calculé l'effort musculaire de la grenouille. La grenouille, en se contractant, soulève non-seulement le poids attaché à ses jambes, mais encore une partie de son corps. Si l'on fait attention à la manière avec laquelle elle se contracte dans notre expérience, on verra que le morceau de colonne vertébrale reste en repos, et que les cuisses se soulèvent très-peu en comparaison des jambes. On peut donc dire, pour trouver quel est le poids du corps de la grenouille qui se soulève dans la contraction, et quelle est l'élévation du centre de gravité de ce poids, que les jambes seules se soulèvent à la même hauteur que le cube de plomb.

Le poids des deux jambes d'une grenouille est, en moyenne, $2^{gr},86$, qui ajoutés à $5^{gr},5$, poids du cube de plomb, font $8^{gr},36$, que la contraction de la grenouille soulève pendant $0'',32$ à la hauteur moyenne de $2^{mm},4$. La quantité du travail d'une contraction qui dure $0'',32$ est donc exprimée par le produit suivant en kilogramme mètre :

$$0^{k},00836 \times 0^{m},0024 = 0^{k.m.},000020064.$$

J'ai opéré successivement, plusieurs jours de suite, sur 1 000 grenouilles, avec une pile de 6 éléments de Bunsen. Pour rendre les calculs plus faciles, je multiplie tout par trois. J'ai obtenu par là un travail de 300 000 contractions, qui a duré 96 000 secondes. La quantité d'eau décomposée pendant ce temps a été de $22^{c.c},5$ de gaz mélangé équivalente à $43^{gr},20$ de zinc dissous pour produire le courant. La quantité du travail de 300 000 contractions est égale au pro-

duit $0^{k.m.},000020064 \times 300000 = 6^{k.m.},0192$, c'est-à-dire, en vingt-quatre heures, à $5^{k.m.},5419$, dans lequel temps la quantité de zinc dissous a dû être de $37^{gr},7$.

Cette quantité serait bien le nombre que nous cherchons si nous n'avions vu qu'un courant bien plus faible que celui qui est produit par cette quantité de zinc, est capable de produire le même travail musculaire. J'ai comparé, à l'aide du galvonomètre comparable de Nobili, un courant de 1 élément de Bunsen et un courant de 6 éléments dans les mêmes conditions, c'est-à-dire avec deux interruptions dans le circuit, l'une dans le voltaïmètre, l'autre à travers le bassin d'une grenouille. Le rapport trouvé est de 1 : 565. En prenant ce même rapport pour celui des forces électro-chimiques de deux courants, nous aurons $0^{gr},066$ pour la quantité de zinc qui, en se dissolvant en vingt-quatre heures, donne un courant capable de produire dans le même temps, en parcourant les nerfs lombaires d'une grenouille, un travail exprimé par $5^{k.m.},5419$. Mais on concevra très-aisément que cette quantité de zinc devra encore être réduite, en réfléchissant que le courant qui parcourt le bassin de la grenouille dans notre expérience est conduit, en partie, par les nerfs lombaires et, en partie, par la masse musculaire du bassin même.

Il n'est pas difficile de parvenir, avec le principe des courants dérivés, et en suivant la méthode que j'ai décrite dans le chapitre IV de mon ouvrage déjà cité, à déterminer avec une certaine approximation le rapport de conductibilité des nerfs lombaires et de la masse musculaire du bassin ; ce rapport, trouvé par l'expérience, est de 1 : 11 ; c'est-à-dire qu'un courant qui parcourt le bassin d'une grenouille, n'agit qu'avec un onzième de sa force sur les nerfs lombaires. C'est donc dans ce même rapport qu'il faut réduire la quantité de zinc qui, étant dissoute et transformée en courant, donne en un jour le travail mécanique $5^{k.m.},5419$, qui est par conséquent de 6 milligrammes. Mais la réduction n'est pas

encore finie ; et, en effet, le courant électrique qui excite les nerfs lombaires d'une grenouille détermine la contraction dans toutes les masses musculaires des membres, et il est évident que le mouvement que nous mesurons n'est que la différence entre l'effet des contractions qui le favorisent et celui des contractions qui le contrarient.

En effet, j'ai vu, en faisant fonctionner mon appareil en présence de M. Breschet et d'autres anatomistes, qu'en coupant les tendons des muscles antérieurs des cuisses de la grenouille disposée dans mon appareil, le poids était soulevé à une hauteur double de celle à laquelle il arrivait avant l'opération. On est donc sûr de ne pas excéder en réduisant de moitié la quantité de zinc trouvée en dernier lieu. De sorte qu'il faut conclure que 3 milligrammes de zinc dissous en vingt-quatre heures dans une pile, développent un courant qui, agissant d'une manière continue sur les nerfs lombaires d'une grenouille récemment préparée, produit un effort musculaire exprimé par une quantité de travail égale à $5^{k.m.},5419$ dans le même temps. Je répète encore une fois qu'en donnant ces nombres, je dois les regarder comme approximatifs, et que, quant à la quantité de zinc que peut produire le travail donné, toutes les erreurs introduites par l'expérience dans son évaluation tendent à l'augmenter. Mon but a été de faire connaître une méthode pour trouver le rapport entre le courant électrique et la force nerveuse que ce courant peut exciter. J'ai en construction des appareils plus délicats, et je m'occuperai à répéter mes expériences pour arriver à des nombres plus exacts. Je ne puis, du reste, laisser ce sujet sans exposer ici quelques rapprochements qui me semblent très-curieux. Les 3 milligrammes de zinc, qui en se dissolvant développent un courant électrique capable d'exciter un effort musculaire exprimé par $5^{k.m.},5419$ en un jour, produiraient dans la machine électro-magnétique de MM. Botto, Jacobi, etc., et dans le même temps, un travail mesuré par $0^{k.m.},96$..Si l'on

trouve l'équivalent en charbon de 3 milligrammes de zinc, ou bien si l'on prend la chaleur que ces 3 milligrammes de zinc développent en brûlant, et si l'on suppose que l'on brûle ce charbon ou ce zinc, sous une chaudière à vapeur de la construction la plus parfaite, nous trouverons $0^{k.m.},8304$ pour exprimer le travail dans un jour fait par cette quantité de charbon ou de zinc, ou mieux par la chaleur qu'elle développe en se brûlant.

Ces rapprochements suffisent pour prouver que, pour produire un effet mécanique donné, il y a tout avantage possible à considérer que la force qui se développe est de l'électricité qui se transforme en force nerveuse. Les analogies que nous savons exister entre le courant électrique et la force nerveuse me permettent d'admettre que le nombre $5^{k.m.},5419$ est au moins l'*équivalent* de la force nerveuse, c'est-à-dire que, sans admettre que, originairement, le courant électrique soit développé par une certaine action chimique, et que ce courant se transforme ensuite en force nerveuse, nous pouvons dire que 3 milligrammes de zinc ou l'équivalent de charbon, d'hydrogène, etc., développent, en se combinant dans un animal, un équivalent d'oxygène, de chlore, une quantité de force nerveuse exprimée par le travail, $5^{k.m.},5419$.

Faisons encore une application de ces résultats. M. Dumas dit, dans une Note, que mes expériences donnent la raison de la différence trouvée entre la chaleur produite par la respiration et celle abandonnée au calorimètre par l'animal en repos. Je pense que les résultats contenus dans mon Mémoire donneront consistance à l'idée ingénieuse de l'illustre chimiste français. Suivant M. Dulong, on trouve qu'un lapin ne cède pas au calorimètre 556 unités de chaleur. Suivant M. Despretz, ce nombre serait la moitié. Il y a donc en un jour, dans un lapin, une certaine quantité d'actions chimiques qui ne se montrent pas en chaleur. Si nous voulions admettre que cette quantité d'action chimique pro-

duit de l'électricité, et que celle-ci se transforme ensuite en force nerveuse, nous pourrions trouver la quantité d'effort musculaire que l'animal pourrait produire en un jour. En effet, nous savons quelle est la quantité d'hydrogène ou de charbon qui développe, en brûlant, les 556 unités de chaleur ou la moitié; nous savons également que les équivalents des différents corps développent, en se combinant avec un équivalent d'un autre corps quelconque, en se séparant d'une combinaison, une même quantité de courant électrique. Ainsi, 16 milligrammes d'hydrogène, qui, en brûlant, donnent les 556 unités de chaleur, sont équivalents à 515 milligrammes de zinc; on peut prendre le charbon comme le corps qui, en brûlant, donnerait la chaleur qui ne se trouve pas dans le calorimètre. 24 milligrammes de charbon équivalant à 254 milligrammes de zinc donneraient $460^{k.m.}$ de travail, en partant des nombres que nous avons donnés; avec les nombres de M. Despretz, ce travail se réduirait à $230^{k.m.}$. Sans avoir l'espoir de voir vérifier ces chiffres, j'ai toutefois désiré connaître la quantité de travail journalier dont serait capable un lapin.

Je saisis cette occasion pour faire mes remercîments publics à mon collègue, M. Pacinotti, qui a bien voulu m'aider dans cette recherche. Nous avons trouvé que ce travail, en employant l'animal ou à traîner simplement son corps, c'est-à-dire en le faisant marcher, ou bien en l'obligeant à traîner une petite charrette, était exprimé par $164^{k.m.}$. Il est clair qu'il faut ajouter à ce nombre l'effort musculaire fait en un jour par les contractions du cœur; ce nombre ne serait pas moindre de $20^{k.m.}$, en partant des données certainement très-peu exactes que nous possédons.

Nous avons encore à ajouter que beaucoup d'autres mouvements de contraction se font dans les différentes parties du corps d'un animal, qui ne peuvent pas être compris dans son travail tel que nous l'avons calculé. Je m'arrêterai,

dans la crainte d'aller trop loin dans le champ des hypothèses. Que les physiologistes ne perdent point de vue le conséquences qui découlent de ces recherches.

Les actions chimiques qui ont lieu dans la transformation de nos tissus développent de la chaleur, de l'électricité, de la lumière, de la force nerveuse. C'est peut-être en étudiant convenablement cette production dans les animaux, qu'on parviendra à déterminer les équivalents de ces forces, ce qui sera un des plus grands résultats auxquels la physique puisse aspirer (1).

MÉMOIRE SUR LES COMBINAISONS DE DEUX NOUVELLES BASES ALCALINES CONTENANT DU PLATINE;

PAR M. JULES REISET.

Le protochlorure de platine PtCl, traité par l'ammoniaque liquide, se transforme rapidement en une matière d'une couleur verte bien prononcée, en donnant lieu à une élévation de température considérable. Par une ébullition maintenue pendant quelques heures, avec un excès d'ammoniaque, qu'il faut avoir soin de remplacer à mesure qu'elle s'évapore, la matière verte entre en dissolution, et la liqueur filtrée donne, par l'évaporation, de magnifiques cristaux ordinairement un peu jaunes, et qui atteignent souvent plusieurs centimètres de longueur.

Le sel vert AzH^3PtCl, découvert et analysé par Magnus,

(1) Je viens d'apprendre, par une Lettre de M. Botto, de Turin, que la quantité de travail qu'il a trouvée produite par un courant dans sa machine électro-magnétique n'a été calculée que sur la portion du circuit tourné en spirale. Il est clair qu'il faut regarder tout le circuit, en comprenant celui réduit de la pile, comme capable du même effet. Il reste donc à trouver la quantité absolue de travail d'un courant dans la machine électro-magnétique.

se dissout complétement dans l'ammoniaque caustique après une ébullition convenablement prolongée, et peut donner naissance aux mêmes cristaux. Mais ce sel vert cristallisé exige toujours beaucoup de temps pour se dissoudre. C'est d'ailleurs un moyen plus avantageux et plus rapide de traiter directement le protochlorure de platine par l'ammoniaque (1).

Ces cristaux ne s'altèrent pas à la température ordinaire; chauffés à 110 degrés, ils perdent une certaine quantité d'eau en devenant opaques. A 250 degrés seulement l'ammoniaque commence à se dégager, le sel se transforme, sans dépôt de platine, en une matière d'un beau jaune, ne se décomposant que vers 300 degrés en chlorhydrate d'ammoniaque, en acide chlorhydrique, en platine métallique et en azote pur.

L'analyse de ces cristaux a donné les résultats suivants, et conduit à la formule (2)

$$Az^2H^6PtCl + HO.$$

(1) Le protochlorure de platine se prépare, comme on sait, en chauffant avec soin sur un bain de sable, dans une capsule de porcelaine, le bichlorure de platine, jusqu'à ce qu'il ait perdu la moitié de son chlore. La poussière jaune-verdâtre ainsi obtenue est tout à fait insoluble dans l'eau, vient nager à sa surface sans se mouiller, et ne doit communiquer à ce liquide aucune coloration, si, comme il est important de s'en assurer, tout le bichlorure est décomposé. Il peut arriver qu'en élevant un peu trop la température, une certaine quantité de protochlorure se trouve décomposée et ramenée à l'état de platine métallique, qui reste sur le filtre sous forme d'une poussière noire, après le traitement par l'ammoniaque.

(2) Une simple calcination du sel dans un creuset de platine fermé et au moyen d'une lampe à alcool bien réglée, donne le platine à l'état métallique avec autant d'exactitude qu'il est permis de le désirer. Dans un petit nombre de cas particuliers, il est cependant nécessaire de mélanger la combinaison platinique avec du carbonate de soude desséché, avant de procéder à la calcination.

L'azote a été déterminé en volume comme à l'ordinaire. Si l'on veut peser l'eau formée pendant la combustion pour en déduire l'hydrogène, il faut faire le mélange avec du chromate de plomb si la substance contient du chlore.

Au lieu de sécher, fondre et peser le chlorure d'argent pour déterminer

		Calculé.	Trouvé. I.	Trouvé. II.
Pt...	1233,50	58,59	58,66	58,67
2 Az..	354,08	16,82	16,76	16,47
6H...	75,00	3,56	3,65	3,61
Cl..	442,65	21,03	20,93	21,25
Sel sec à 110 degrés =	2105,23	100,00	100,00	100,00
HO..	112,50	5,07	4,90	4,85
Sel cristallisé.......	2217,73			

A 110 degrés les cristaux $Az^2H^6PtCl + HO$ perdent facilement leur équivalent d'eau (5,07 p. 100), mais ils reprennent cette eau à l'atmosphère avec une telle rapidité, qu'en pesant au contact de l'air cette substance pulvérisée et desséchée à 110 degrés, on croirait avoir à faire à une matière déliquescente. Ainsi, 0,4078 de cristaux pulvérisés et séchés à l'air, ont perdu 0,0198 à 120 degrés, soit 4,85 pour 100. Au sortir de l'étuve, la matière, ne pesant plus que 0,388, a été abandonnée sous une cloche au con-

la quantité de chlore, j'ai mis à profit la méthode de M. Gay-Lussac, en usage aujourd'hui pour déterminer d'une manière si précise et si rapide le titre des monnaies d'argent. Cette méthode, employée d'abord avec M. Pelouze dans un travail qui nous est commun sur l'eau de la mer, consiste à dissoudre dans l'acide nitrique exempt de chlore un poids connu d'argent parfaitement pur.

On verse le sel d'argent dans un flacon à l'émeri, contenant déjà la solution du chlorure à analyser. Le petit matras dans lequel on a dissous l'argent étant lavé convenablement à l'eau distillée, et les eaux de lavage réunies dans le flacon, on bouche et on agite pour éclaircir; suivant que la liqueur contient du chlore ou de l'argent en excès, on y ajoute un volume connu d'une solution *titrée* de sel marin ou de nitrate d'argent, jusqu'à ce que dans la liqueur parfaitement éclaircie par l'agitation, on n'observe plus de précipité par l'un ou l'autre réactif. Ces essais indiquent exactement le poids de l'argent employé, et partant, le chlore du chlorure à analyser. En pesant la quantité d'argent indiquée par le calcul, on arrive presque toujours du premier coup à la saturation. La liqueur éclaircie ne donne plus de précipité avec les réactifs.

Si la combinaison à analyser n'est pas soluble dans l'eau, ou si elle n'abandonne son chlore que difficilement, par double échange, il faut la mélanger avec du carbonate de soude pur et soumettre le mélange à la calcination. Le résidu alcalin dissous dans l'eau et saturé par l'acide nitrique est alors traité par le sel d'argent.

tact de l'air; déjà elle avait absorbé 0,018, et pesait 0,406 après trois heures d'expérience; elle a pu rester ensuite plusieurs jours, dans les mêmes circonstances, et son poids n'a augmenté que de 0,001.

M. Blücher avait déjà constaté (1) qu'après un espace de temps plus ou moins long, certains sels peuvent reprendre à l'air toute l'eau de cristallisation perdue par la chaleur; mais je ne sache pas qu'il ait cité à l'appui de cette vérité un fait aussi frappant.

Enfin, si au lieu de porter dans l'étuve la matière pulvérisée, on chauffe de 110 à 120 degrés des cristaux entiers et un peu gros, on peut observer un phénomène qui m'a vivement frappé plusieurs fois: en refroidissant, et après avoir perdu déjà leur équivalent d'eau, ces cristaux sont lancés de toutes parts avec violence, et se brisent en petits morceaux en devenant opaques.

4 grammes d'eau à 16°,5 dissolvent 1 gramme de cristaux secs à 110 degrés. Le sel est plus soluble dans l'eau bouillante; l'alcool et l'éther le précipitent de sa dissolution sous forme d'une poussière blanche cristalline. Cette poussière blanche cristalline, mise en dissolution dans l'eau, donne, par l'évaporation, des cristaux toujours jaunâtres dès qu'ils sont un peu gros (2).

Bien que ce sel contienne 2 équivalents d'ammoniaque, il ne se comporte pas cependant comme les sels ammoniacaux ordinaires, car les alcalis n'en dégagent aucune trace d'ammoniaque à froid, et ce dégagement n'est que très-faible, même par une élévation de température. Plusieurs des combinaisons ammoniacales dont nous parlerons plus loin

---

(1) Berzelius, *Rapport annuel sur les progrès de la Chimie*, 31 mars 1841; traduction française, page 66.

(2) M. de la Provostaye a bien voulu déterminer la forme cristalline de plusieurs de ces combinaisons; j'espère que les résultats de ces recherches pourront trouver place dans quelqu'une de ses intéressantes publications.

ne perdent leur ammoniaque ni à froid ni à chaud en présence des alcalis.

Ce corps $Az^2 H^6 Pt Cl + HO$ offre une composition qui le rapproche beaucoup d'une série particulière de combinaisons platiniques découvertes par M. Gros.

J'ai fait voir (*Comptes rendus*, t. X, p. 871) qu'il peut en effet aider à les reproduire ; mais il conduit également à deux séries de sels très-distincts, qui m'ont uniquement occupé. Ces recherches restent ainsi en dehors de celles qui ont été publiées par M. Gros (1), et qu'il avait d'ailleurs le désir de poursuivre.

Avec un sel d'argent, le chlorure $Az^2 H^6 Pt Cl$ donne un précipité de chlorure d'argent ; la liqueur, filtrée et évaporée, laisse cristalliser un nouveau sel qui ne contient plus de chlore :

$$Az^2 H^6 Pt Cl + Ag O \bar{A} = Cl Ag + Az^2 H^6 Pt O, \bar{A};$$

c'est ainsi que l'on obtient

Le nitrate $Az^2 H^6 Pt O, Az O^5$;
Le sulfate $Az^2 H^6 Pt O, SO^3$.

Après la réaction du sel d'argent neutre, la liqueur reste parfaitement neutre. Par l'évaporation, le nitrate cristallise aisément en belles aiguilles blanches transparentes. Ce sel, desséché à l'air, ne change pas sensiblement de poids à une température de 200 degrés. Chauffé à la lampe sur une lame de platine, il se décompose brusquement et avec déflagration. Il faut donc le mélanger avec une assez grande quantité de carbonate de soude pur, afin de ne pas éprouver de perte dans le dosage du platine pendant la calcination.

			Trouvé.	
		Calculé.	I.	II.
Pt.....	1233,50	50,56	50,66	50,83
3 Az...	531,12	21,77	21,87	"
6 H....	75,00	3,06	"	"
6 O....	600,00	24,61	"	"
	2439,62	100,00		

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 2e série, tome LXIX, page 204.

Le nitrate a donc pour fourmule

$$Az^2H^6PtO, AzO^5.$$

Le sulfate cristallise, tantôt en petits grains très-brillants qui ne changent ni de poids ni d'aspect à 130 degrés, tantôt en lames écailleuses qui deviennent aisément d'un blanc opaque après avoir perdu 1 équivalent d'eau qu'elles ne retiennent que très-faiblement.

32 grammes d'eau à 16°,5 dissolvent 1 gramme de sulfate; ce sel est plus soluble dans l'eau bouillante. Vers 270 degrés il commence à se décomposer.

Le sulfate a pour formule

$$Az^2H^6PtO, SO^3.$$

			Trouvé.	
		Calculé.	I.	II.
Pt......	1233,50	54,49	54,50	54,33
2Az....	354,08	15,64	15,52	"
6H.....	75,00	3,30	3,58	"
O.......	100,00	4,44	"	"
SO^3.....	501,16	22,13	21,94	"
	2263,74	100,00		

On isole aisément la base des sels, en traitant convenablement, par de l'eau de baryte, le sulfate Az^2H^6PtO, SO^3. Dès l'addition des premières gouttes de baryte, on obtient un précipité de sulfate de baryte, et la liqueur devient fortement alcaline, sans dégagement sensible d'ammoniaque, même par une ébullition prolongée; la lessive évaporée, à l'abri du contact de l'air, et portée dans le vide sec, se prend en une masse d'aiguilles cristallines d'un blanc opaque après complète dessiccation.

Ainsi préparée, cette base, dans un état de pureté parfaite, est énergiquement *alcaline* et *caustique;* elle peut, jusqu'à un certain point, être comparée à la soude ou la potasse; comme ces deux alcalis, elle est déliquescente, et se combine rapidement avec l'acide carbonique; elle déplace l'ammoniaque de ses combinaisons, et peut s'employer

comme la potasse, dans le procédé de M. Trommer, pour découvrir une trace de sucre de raisin avec l'oxyde de cuivre.

Analyses de la base isolée et desséchée dans le vide.

		Calculé.	Trouvé. I.	Trouvé. II.
Pt....	1233,50	65,76	65,74	65,09
2 Az..	354,08	18,88	19,28	"
7 H...	87,50	4,65	4,65	"
2 O...	200,00	10,71	10,33	"
	1875,08	100,00	100,00	

La base isolée, et desséchée dans le vide, contient donc, comme la potasse ou la soude, 1 équivalent d'eau qui peut lui être enlevé en la combinant directement avec les acides; elle a pour formule Az^2H^6PtO,HO.

L'action de la chaleur sur cette base est très-remarquable : à 110 degrés, elle fond, se boursoufle considérablement en perdant les éléments de 1 équivalent d'oxyde d'ammonium AzH^3HO; soit 17,44 pour 100 de la base isolée Az^2H^6PtO,HO. Une première expérience a donné 17,41; une seconde 17,47. On obtient alors pour résidu de cette décomposition, une masse poreuse, grisâtre, entièrement insoluble dans l'eau et l'ammoniaque, qui se représente exactement par la formule

$$AzH^3PtO = Az^2H^6PtOHO - AzH^3HO.$$

		Calculé.	Trouvé.
Pt...	1233,50	79,68	79,59
Az...	177,04	11,43	"
3 H..	37,50	2,35	2,41
O....	100,00	6,54	"
	1548,04	100,00	

C'est de l'oxyde d'ammonium dens lequel le quatrième équivalent d'hydrogène H serait remplacé par 1 équivalent de platine Pt. Mais, dans cet état, le corps AzH^3PtO ne paraît pas jouir des propriétés d'une base salifiable; les acides donnent avec lui des composés particuliers, insolubles et détonants.

Chauffé en un seul point vers 200 degrés, ce corps devient incandescent et continue à brûler hors du foyer, en faisant entendre un bruit pareil à celui du nitre sur des charbons. Ce phénomène n'a lieu qu'au contact de l'air; l'ammoniaque rencontre alors de l'oxygène et *se brûle* à la faveur d'un *corps catalytique*, le platine métallique poreux comme de la mousse de savon.

En vase clos ou dans le vide, la base chauffée à 200 degrés ne devient point incandescente; elle se décompose tranquillement en donnant de l'eau, de l'ammoniaque et du platine métallique; le gaz dégagé est de l'azote pur.

L'acide carbonique peut se combiner en plusieurs proportions avec la base Az^2H^6PtO, HO.

Si l'on fait passer un courant d'acide carbonique dans une solution froide et concentrée de la base, le gaz est absorbé : la liqueur reste alcaline même après un excès d'acide carbonique, et laisse déposer un bicarbonate sous forme d'une poussière blanche cristalline, s'attachant aux parois du verre. Ce sel fait une vive effervescence avec les acides, et perd une partie de son acide carbonique par une ébullition prolongée, en donnant un carbonate particulier. Sec, il peut être chauffé à 120 degrés sans altération.

Ce bicarbonate contient 1 équivalent d'eau comme les bicarbonates alcalins, et il a pour formule

$$Az^2H^6PtO, 2CO^2HO, \text{bicarbonate.}$$

			Trouvé.	
		Calculé.	I.	II.
Pt...	1233,50	50,86	50,83	50,80
2 Az.	354,08	14,50	14,24	"
7 H..	87,50	3,60	3,76	"
6 O..	600,00	24,76	"	"
2 C..	150,00	6,18	6,47	"
	2425,08	100,00		

Le carbonate, obtenu en faisant bouillir convenablement une solution du bicarbonate, ramène au bleu le papier rouge de tournesol. Il se présente ordinairement sous forme

d'une masse blanche cristalline de saveur amère, et commence à se décomposer vers 200 degrés.

Ce sel doit être envisagé comme une combinaison double du bicarbonate, avec 1 équivalent de carbonate neutre, $Az^2H^6PtO, 2CO^2, HO + Az^2H^6PtO, CO^2$; il est plus soluble dans l'eau que le bicarbonate et correspond au sesquicarbonate d'ammoniaque.

Je crois avoir isolé le carbonate neutre en abandonnant au contact de l'air une solution caustique de la base. Ce carbonate contiendrait 1 équivalent d'eau; les nombres trouvés conduisent à la formule Az^2H^6PtO, CO^2HO.

On prépare facilement l'iodure et le bromure de la base par double décomposition, avec le sulfate Az^2H^6PtO, SO^3, et le bromure et l'iodure de barium.

En précipitant exactement une dissolution concentrée, et nouvellement préparée d'iodure de barium, par une solution bouillante et saturée du sulfate Az^2H^6PtO, SO^3, la liqueur, filtrée rapidement et encore chaude, laisse déposer par le refroidissement un beau sel sous forme de paillettes nacrées qui paraissent se colorer à l'air.

			Trouvé.	
		Calculé.	I.	II.
Pt...	1233,50	38,03	37,86	37,80
2 Az.	354,08	10,91	10,93	"
6 H..	75,00	2,36	"	"
I....	1579,50	48,70	"	"
	3242,08	100,00		

L'iodure Az^2H^6PtI sec ne change pas de poids à 120 degrés, tandis que sa solution bouillante dégage de l'ammoniaque, en même temps qu'il se dépose une poudre d'un beau jaune orange très-peu soluble dans l'eau.

			Trouvé.	
		Calculé.	I.	II.
Pt...	1233,50	40,40	40,48	40,52
Az...	177,04	5,84	5,75	"
3 H..	37,50	1,60	1,48	"
I....	1579,50	52,16	52,29	52,37
	3027,54	100,00	100,00	

Cet iodure jaune AzH^3PtI se dissout aisément dans l'ammoniaque, et reproduit l'iodure Az^2H^6PtI.

Le bromure Az^2H^6PtBr, obtenu en traitant le bromure de barium par le sulfate Az^2H^6PtO, SO^3, cristallise en cubes et n'éprouve pas, par l'ébullition, la même transformation que l'iodure correspondant.

J'ai essayé de combiner directement l'acide cyanhydrique avec la base, j'ai toujours obtenu du cyanhydrate d'ammoniaque et un précipité blanc cristallin insoluble dans l'eau. L'équation suivante rend compte de la réaction :

$$Az^2H^6PtO, HO + 2CyH = \underline{AzH^3PtCy} + AzH^3HCy + 2HO.$$

		Calculé.	Trouvé. I.	Trouvé. II.
Pt...	1233,50	69,49	68,80	70,08
2Az.	354,08	19,96	20,16	"
3H..	37,50	2,10	2,28	"
2C..	150,00	8,45	8,42	"
	1775,08	100,00	99,66	

Le cyanure AzH^3PtCy se dissout à la longue dans l'ammoniaque bouillante, mais il cristallise de cette dissolution sans altération.

Ce corps prend place à côté du sel de Magnus AzH^3PtCl dans la série qui ne renferme que 1 seul équivalent d'ammoniaque combiné à l'oxyde de platine.

Le sulfate et le nitrate de cette série s'obtiennent aisément en faisant bouillir, avec un sel d'argent, l'iodure AzH^3PtI. La réaction est alors très-nette :

$$AzH^3PtI + AgO\bar{A} = IAg + AzH^3PtO\bar{A}.$$

Ces sels cristallisent moins facilement que ceux de la première série; ils rougissent fortement la teinture de tournesol.

Une solution du nitrate, évaporée dans le vide sec, a donné des croûtes cristallines assez blanches. La chaleur décompose ce sel presque instantanément avec production de gaz

nitreux. Le résidu de platine a l'aspect d'une *végétation métallique*.

Ce nitrate ne contient pas d'eau, il a pour formule

$$AzH^{3}PtO, AzO^{5}.$$

			Trouvé.	
		Calculé.	I.	II.
Pt...	1233,50	55,41	55,40	55,45
2 Az.	354,08	15,91	15,64	"
3H..	37,50	1,66	"	"
6O..	600,00	27,02	"	"
	2225,08	100,00		

Le sulfate est peu soluble dans l'eau froide, et se précipite par le refroidissement de sa dissolution chaude à l'état de poudre blanche cristalline. Il ne change pas de poids à 120 degrés après avoir été convenablement desséché à l'air. Ce sel retient 1 équivalent d'eau qu'on ne peut lui enlever sans le décomposer, et il a pour formule

$$AzH^{3}PtO, SO^{3}HO.$$

			Trouvé.	
		Calculé.	I.	II.
Pt...	1233,50	57,08	57,09	57,00
Az...	177,04	8,19	7,91	"
4H .	50,00	2,26	"	"
2O..	200,00	9,30	"	"
SO³ .	501,16	23,17	23,79	"
	2161,70	100,00		

Quelques gouttes d'acide chlorhydrique ou d'un chlorure, versées dans un sel de cette série $AzH^{3}PtO, \overline{A}$, y produisent au bout de quelques instants, et même dans des liqueurs très-étendues, un précipité cristallin d'un beau jaune, isomère avec le sel de Magnus.

Le sel vert de Magnus, insoluble dans l'eau, peut être transformé directement en son isomère jaune soluble dans l'eau bouillante. En effet, ce sel vert se dissout à la longue dans une solution concentrée et bouillante d'un sel ammoniacal (nitrate, sulfate ou chlorhydrate); par le refroidis-

sement, se précipitent de belles paillettes jaunes exactement de même composition que le sel vert de Magnus AzH^3PtCl. Quelques lavages à l'eau froide donnent le sel jaune dans un état de pureté parfaite.

			Trouvé.		
		Calculé.	I.	II.	III.
Pt...	1233,50	65,24	65,01	64,84	65,41
Az..	177,04	9,36	"	"	"
3H..	37,50	1,98	"	"	"
Cl...	442,65	23,42	"	"	"
	1890,69	100,00			

(I et II, par l'acide chlorhydrique dans AzH^3PtOSO^2, HO ; III, sel vert dissous dans le nitrate d'ammoniaque.)

Ce sel jaune se dissout avec la plus grande facilité dans l'ammoniaque, il en absorbe 1 équivalent et reproduit le chlorure Az^2H^6PtCl. L'acide chlorhydrique ne le précipite plus de cette dissolution.

Des cristaux du chlorure Az^2H^6PtCl, préparés avec le sel jaune et l'ammoniaque, ont donné pour 100 parties :

	I.	II.		
Pt...	58,38	58,27	le calcul exige	58,59
Cl...	20,70	"		21,03

On comprend combien de réactions nouvelles il sera possible d'obtenir avec des corps aussi stables et aussi faciles à préparer. Je regrette de n'avoir pu jusqu'à présent en étudier qu'un petit nombre, j'espère y revenir. Voici déjà deux combinaisons intéressantes que peuvent donner le bichlorure de platine et le chlorure Az^2H^6PtCl.

En versant du bichlorure de platine dans une solution du chlorure Az^2H^6PtCl en excès, on obtient un précipité abondant d'un vert olive. Dans ce cas, 1 seul équivalent de bichlorure de platine est uni à 2 équivalents du chlorure Az^2H^6PtCl, et ce précipité vert a pour formule

$$PtCl^2, 2(Az^2H^6PtCl),$$

qui donne :

		Calculé.	Trouvé. I.	Trouvé. II.
3Pt..	3700,50	58,46	58,64	58,73
4Az..	708,16	11,18	10,90	"
12H.	150,00	2,39	"	"
4Cl..	1770,60	27,97	27,29	"
	6329,29	100,00		

Au contact d'un excès de bichlorure de platine, le précipité vert se transforme immédiatement en une poussière rouge tripoli, peu soluble et cristalline; dans ce sel, 1 équivalent de bichlorure de platine est combiné à 1 seul équivalent du chlorure Az^2H^6PtCl. Le sel vert de Magnus se dissout dans une solution bouillante de bichlorure de platine, et donne, par le refroidissement, ce même sel rouge en petits cristaux très-brillants. La solution platinique est d'un rouge vineux foncé, et contient nécessairement du protochlorure de platine en combinaison avec l'excès de bichlorure employé.

Le sel rouge a pour formule

$$PtCl^2, Az^2H^6PtCl,$$

qui donne :

		Calculé.	Trouvé. I.	Trouvé. II.
2 Pt...	2467,00	58,41	58,21	58,45
2 Az...	354,08	8,38	8,58	8,38
6H....	75,00	1,79	"	"
3Cl...	1326,95	31,42	31,51	31,43
	4223,03	100,00		

(L'échantillon I préparé par le sel de Magnus; l'échantillon II préparé par le Az^2H^6PtCl dans du bichlorure de platine en excès.)

Le mode de décomposition qu'éprouvent par la chaleur quelques-unes de ces combinaisons platiniques rend très-vraisemblable l'existence d'un *azoture de platine* qui aurait pour formule $AzPt^3$ correspondant à l'ammoniaque AzH^3.

En effet, le corps AzH^3PtO, obtenu en chauffant à

110 degrés la base Az^2H^6PtO,Ho, donne de l'eau et de l'ammoniaque de 160 à 190 degrés. A 195 degrés, et quelquefois même déjà à 190 degrés, le produit qui reste se décompose brusquement en azote et en platine. J'ai vainement essayé d'isoler cet azoture qui paraît se former à une température très-voisine de celle à laquelle il se décompose.

L'équation suivante rend très-bien compte de la réaction :

$$3(AzH^2PtO) = \underline{AzPt^3} + H^3O^3 + Az^2H^3.$$

La quantité d'azote recueilli a toujours été parfaitement en harmonie avec ce mode de décomposition ; le calcul indique 3,8 d'azote dégagé pour 100 de matière. On a obtenu 3,7.

Le sel de Magnus AzH^3PtCl donne de même, en se décomposant, de l'azote pur, du platine, de l'acide chlorhydrique et du chlorhydrate d'ammoniaque.

L'équation

$$3(AzH^3PtCl) = 2(ClH, AzH^3) + ClH + \underline{AzPt^3}$$

explique la formation des produits obtenus ; elle exige 3,12 d'azote dégagé pour 100 de matière ; l'expérience a donné 3,34. Elle démontre enfin l'existence éphémère de l'azoture $AzPt^3$ pendant une des phases de cette décomposition.

Tableau des combinaisons des deux bases platiniques.

Première série.

Az^2H^6PtO,HO, base isolée ;
Az^2H^6PtO,SO^3, sulfate ;
Az^2H^6PtO, AzO^5, nitrate ;
$Az^2H^6PtO, 2CO^2, HO$, bicarbonate ;
$Az^2H^6PtO, 2CO^2, HO + Az^2H^6PtO\,CO^2$, sesquicarbonate ;
Az^2H^6PtO, CO^2HO, carbonate neutre ;
$Az^2H^6PtCl + HO$, chlorure ;
Az^2H^6PtBr, bromure ;
Az^2H^6PtI, iodure ;
$Az^2H^6Pt, Cl + PtCl^2$, sel double rouge ;
$2(Az^2H^6PtCl) + PtCl^2$, sel double vert.

Seconde série.

AzH^3PtO, obtenu en chauffant Az^2H^6PtO, HO ;
AzH^3PtO, AzO^5, nitrate ;
AzH^3PtO, SO^3HO, sulfate ;
AzH^3PtI, iodure ;
AzH^3PtCy, cyanure ;
AzH^3PtCl, chlorure, sel vert de Magnus et son isomère jaune.

Sauf le cyanure et le AzH^3PtO, obtenu en chauffant à 110 degrés la base Az^2H^6PtO,HO, tous les sels de la deuxième série se dissolvent dans l'ammoniaque et reproduisent ceux de la première série.

De même, en chauffant convenablement certains sels de la série à 2 équivalents d'ammoniaque, on obtient le sel correspondant dans la série à 1 seul équivalent. Nous avons vu qu'en bouillant avec de l'eau, l'iodure Az^2H^6PtI perd 1 équivalent d'ammoniaque et se transforme en une poudre jaune AzH^3PtI. C'est ainsi qu'à 250 degrés, le chlorure $Az^2H^6PtCl+HO$ perd d'abord son eau HO, puis 1 équivalent d'ammoniaque AzH^3, et se transforme en une poudre jaune isomère du sel de Magnus AzH^3PtCl.

Les deux séries qui viennent d'être décrites établissent d'une manière certaine l'existence de deux bases nouvelles qui renferment du platine. Chacune de ces bases a été soumise à des épreuves qui ne laissent aucun doute sur son alcalinité, et sur l'association permanente de tous les éléments qui la constituent. Dans l'une d'elles, Az^2H^6PtO, cette alcalinité surpasse en énergie l'oxyde de platine, l'oxyde d'ammonium lui-même ; c'est presque de la potasse. Quelle idée peut-on se faire de bases ainsi constituées?

Il est impossible de trouver ici dans l'ammoniaque un rôle qui l'assimile à l'eau, suivant la théorie appliquée par M. Robert Kane aux principales combinaisons des oxydes métalliques avec l'ammoniaque (1). M. Berzelius suppose que l'acide se trouve combiné avec l'oxyde d'ammonium, et

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 2e série, tome LXXII, page 337.

que ce sel est ensuite intimement uni à une combinaison particulière de platine qu'il appelle *copule*. Il représente ainsi le sulfate de la base par

$$\underset{}{AzH^3HOSO^3} + \underset{\text{copule.}}{AzH^3Pt}\ (*).$$

Sans prétendre fixer d'une manière définitive la constitution de ces différents composés, il nous semble que l'on peut s'en rendre compte d'une manière plus simple en admettant que l'ammoniaque se combine intimement avec l'oxyde de platine pour former deux bases particulières. Cette combinaison, dans le cas du platine, offre une fixité remarquable; avec les autres oxydes métalliques, au contraire, l'ammoniaque donne en général des produits instables, et ne reste combinée que sous l'influence d'acides énergiques. On arrive sans peine à comprendre avec ce fait d'association que 1 ou 2 équivalents d'ammoniaque, et quelquefois plus, peuvent s'ajouter à un même oxyde pour constituer des *bases*. C'est absolument ainsi que l'eau, en s'unissant aux oxydes, peut former des bases différentes de l'oxyde produit par l'union simple du métal avec l'oxygène.

Dans son travail important sur l'acide iodique libre et combiné (*Annales de Chimie et de Physique*, t. IX, 3e série), M. Millon a développé ce point de vue pour les oxydes de calcium, de magnésium et de cuivre, et il nous semble que cette idée doit s'appliquer complétement aux combinaisons ammoniacales.

Ainsi, en se groupant avec l'eau, avec l'ammoniaque, avec l'ammoniaque et l'eau, et quelquefois avec lui-même, un oxyde peut former les bases suivantes capables de saturer 1 seul équivalent d'acide $\overline{A}$.

$\underline{AzH^3MO}$, $\underline{AzH^3HO}$, $\underline{AzH^3PtO}$;
$\underline{Az^2H^6MO}$, $\underline{Az^2H^6CuO}$, $\underline{Az^2H^6PtO}$;

(*) Berzelius, *Rapport annuel sur les progrès de la Chimie*, présenté le 31 mars 1841; traduction française, page 59.

$3(AzH^3)NiO4HO + CrO^3$, chromate de nickel ammoniacal analysé par MM. Malaguti et Sarzeau;

$CaOHO + IO^5$, iodate de chaux analysé par M. Millon;

$MgO4HO + IO^5$, iodate de magnésie, analysé par M. Millon;

$3MgO + 3IO^5$, triiodate de magnésie, correspondant au triiodate de potasse;

$CuOHO + IO^5$, iodate de cuivre, première forme;

$3CuO + IO^5$, iodate de cuivre, deuxième forme;

$6CuO + IO^5$, iodate de cuivre, troisième forme.

Une étude plus complète des combinaisons ammoniacales, et des différents états d'hydratation des oxydes métalliques, conduira certainement à réduire le nombre considérable de bases que cette manière de voir présente au premier aspect.

ANALYSES COMPARÉES DE L'ALIMENT CONSOMMÉ ET DES EXCRÉMENTS RENDUS PAR UNE TOURTERELLE, ENTREPRISES POUR RECHERCHER S'IL Y A EXHALATION D'AZOTE PENDANT LA RESPIRATION DES GRANIVORES;

PAR M. BOUSSINGAULT.

§ I. — Les recherches que je vais exposer ont été faites dans le but de constater si les granivores émettent, pendant l'acte de la respiration, de l'azote provenant de leur organisme; en d'autres termes, on s'est proposé d'examiner si un oiseau adulte, nourri d'une manière régulière et dont le poids n'augmente pas, rend dans ses déjections la totalité de l'azote qui faisait partie des aliments qu'il a consommés.

Cette émission d'azote est assez généralement admise aujourd'hui, par suite des expériences de Dulong et de M. Despretz. Il y a quelques années, j'ai été conduit à une semblable conclusion en déterminant, par l'analyse élémentaire, la composition de la nourriture prise et celle des produits rendus par le cheval et la vache; néanmoins, comme dans l'application des préceptes de la théorie à l'é-

conomie des engrais, il est d'une importance extrême de savoir s'il y a réellement une partie de l'azote des fourrages consommés qui est perdue pour la production animale et pour le fumier, j'ai cru devoir étudier de nouveau la question, en faisant porter mes recherches, non plus sur de grands herbivores, mais sur un oiseau qui, par son peu de volume et la nature de ses déjections, permettait d'espérer un plus grand degré de précision. La tourterelle que j'ai soumise à l'observation était, depuis longtemps, nourrie uniquement avec du millet; elle a été mise dans une cage dont le fond, recouvert par une plaque de verre, laissait recueillir sans aucune perte les excréments. Le millet donné comme nourriture était contenu dans un vase de porcelaine un peu profond, ayant une capacité sensiblement conique, la petite base du cône formant l'orifice de la mangeoire; à l'aide de cette disposition, la tourterelle n'a pas laissé tomber un seul grain de millet dans la cage.

Dès le commencement des expériences, le millet destiné à l'alimentation a été conservé dans un flacon bouché, afin que pendant toute leur durée, la proportion d'humidité qu'il contenait restât constamment la même. Chaque jour, à la même heure, on pesait une certaine quantité de graine que l'on mettait dans la mangeoire, après avoir enlevé et pesé celle qui restait de la ration donnée la veille. On connaissait ainsi, avec exactitude, le millet qui avait été consommé en vingt-quatre heures, et bien que la nourriture ait été de la sorte donnée à discrétion, la tourterelle s'est rationnée elle-même avec assez de régularité.

Ses excréments étaient recueillis tous les jours, au moment où l'on donnait la ration de millet; ils ont constamment offert la même apparence, la même forme sphéroïdale, et leur consistance permettait de les enlever avec facilité; à la fin d'une expérience on détachait de la plaque de verre qui recouvrait le plancher de la cage, les quelques parcelles de matières qui étaient restées adhérentes. Les excréments

rendus dans les vingt-quatre heures ont d'abord été pesés humides; immédiatement après la pesée, on les desséchait dans une étuve chauffée à 40 ou 50 degrés. On s'est astreint à dessécher à cette basse température, dans la crainte, probablement exagérée, de dissiper quelques principes volatils azotés. La température de la chambre dans laquelle séjournait la tourterelle, ne dépassa jamais 10 à 11 degrés; de sorte que les déjections, avant de passer à l'étuve, se trouvaient à l'abri de toute fermentation qui aurait pu donner lieu à des vapeurs ammoniacales.

Les expériences ont été divisées en deux séries : la première série comprend cinq jours d'observations; la seconde, sept jours.

§ II. — Première série. *Cinq jours d'observations.*

ÉPOQUES.	EN VINGT-QUATRE HEURES.		POIDS de la tourterelle.
	Millet consommé.	Excréments humid. recueillis.	
	gr.	gr.	gr.
Premier jour.......	15,45	7,19	187,90
Deuxième jour......	15,53	7,11	"
Troisième jour.....	16,94	8,04	"
Quatrième jour.....	14,55	7,54	"
Cinquième jour.....	14,17	7,42	186,27
En cinq jours......	76,64	37,30	

Analyse du millet consommé dans les deux expériences.

Dessiccation. — 1gr,871 ont perdu à la température de 130 à 135 degrés, après un séjour dans le vide sec, 0,263 d'eau. Eau pour 100 = 14,0.

Les 76gr,64 de millet mangé par la tourterelle dans cette première série, contenaient réellement 65,91 de millet sec.

Cendres. — 2gr,880 de millet normal = 2,477 de millet

sec, ont laissé 0,064 de cendres très-blanches et fortement calcinées ; on a ainsi, pour 100, dans le millet normal, 2,22 de cendres. Dans le millet sec, 2,58.

Azote.

Millet normal.	Millet sec.	Azote.	Températ.	Barom. à 0°.	Azote en poids.	Azote dans 100 de millet sec.	
gr.	gr.	c.c.	o	m	gr.		
I. 0,775	0,6665	17,8	11,0	0,7693	0,02134	3,20	3,30
II. 0,7795	0,6704	19,1	13,5	0,7642	0,02282	3,40	

Carbone et hydrogène.

Millet normal.	Millet sec.	Eau contenue.	Ac. carbon.	Eau dosée (*).	Dans 100 de millet sec, Carbone.	Hydrogèn.
gr.	gr.	gr.	gr.	gr.		
I. 0,567	0,4876	0,0794	0,822	0,357	45,97	6,29
II. 0,636	0,5470	0,0890	0,930	0,399	46,17	6,30
				Moyenne......	46,07	6,295

Composition du millet consommé à l'état sec.

Carbone.......	46,07
Hydrogène.....	6,29
Azote.........	3,30
Oxygène.......	41,76
Matières salines.	2,58
	100,00

Analyse des excréments.

Première dessiccation. — Les 37gr,30 d'excréments humides pesaient à la sortie de l'étuve 16,220 ; la matière sèche a été broyée, introduite dans un flacon et mélangée intimement ; c'est à cet état qu'elle a été analysée.

Deuxième dessiccation. — 2gr,257 de la poudre précédente, après une dessiccation prolongée dans le vide sec et à la température de 130 à 135 degrés, se sont réduits à 2,093 = eau 0,164 ; pour 100, eau 7,27. Les 37gr,30 d'excréments humides représentent par conséquent 15gr,04 d'excréments complétement desséchés.

Cendres. — 1gr,440 de matière desséchée à l'étuve, répon-

(*) L'*eau dosée* renferme nécessairement l'*eau contenue*. Pour calculer l'hydrogène du millet *sec*, on a retranché la première de la seconde.

dant à $1^{gr},3365$ d'excréments entièrement secs, ont laissé $0^{gr},158$ de cendres très-blanches fortement calcinées. Pour 100 d'excréments secs, cendres 11,80.

Azote. — $0^{gr},4775$ de matière séchée à l'étuve = 0,4428 de matière sèche, ont donné :

Azote, $34^{c.c.},1$; température, $13^{o},0$; baromètre à 0°, $0^{m},7692$ = azote en poids, $0^{gr},04092$.

Azote pour 100, dans les excréments séchés à l'étuve, 8,57 ; dans les excréments séchés à 135 degrés, 9,24.

Carbone et hydrogène.

I. Matière séchée à l'étuve.	0,605	Ac. carbon.	0,812	Eau dosée.	0,292
II. *Id.*	0,600	*Id.*	0,812	*Id.*	0,310
	1,205		1,624		0,602
Humidité contenue.....	0,088				0,088
Excréments secs.........	1,117			Eau dosant l'hydrogène.	0,514

On a pour la composition des excréments secs :

Carbone........	39,65
Hydrogène......	5,11
Azote..........	9,24
Oxygène........	34,20
Matières salines.	11,80
	100,00

§ III. — Deuxième série. *Sept jours d'observations.*

ÉPOQUES.	EN VINGT-QUATRE HEURES. Millet consommé.	EN VINGT-QUATRE HEURES. Excréments humid. recueillis.	POIDS de la tourterelle.
	gr.	gr.	gr.
Premier jour.......	17,74	8,26	186,97
Deuxième jour.....	15,31	9,05	186,17
Troisième jour.....	17,02	10,37	"
Quatrième jour.....	16,82	8,14	"
Cinquième jour.....	17,54	9,07	187,27
Sixième jour......	15,78	8,05	"
Septième jour......	17,41	9,45	185,47
En sept jours.......	117,62	62,99	

Analyse des excréments.

Première dessiccation. — Les $62^{gr},99$ d'excréments humides ont pesé, après la dessiccation à l'étuve, $26^{gr},176$.

Deuxième dessiccation. — $2^{gr},738$ de matière séchée à l'étuve, mis dans le vide sec, à la température de 130 à 135 degrés, se sont réduits à $2^{gr},517$ = eau $0^{gr},221$. Pour 100, 8,10. Les $62^{gr},99$ d'excréments humides contenaient alors $24^{gr},056$ de matières sèches.

Cendres. — $2^{gr},883$ d'excréments séchés à l'étuve = $2^{gr},6495$ de matière sèche, ont laissé $0^{gr},284$ de cendres parfaitement blanches. Pour 100, cendres, 10,72 dans l'excrément sec.

Azote. — $0^{gr},4755$ de matière séchée à l'étuve = $0^{gr},437$ de fiente sèche, ont donné :

Azote, $33^{c.c.}$; températ., $13^{o},2$; barom. à 0°, $0^{m},7667$ = azote en poids $0^{gr},03984$ = azote dans 100 d'excréments secs, 9,12.

Carbone et hydrogène.

	gr.		gr.		gr.
Matière séchée à l'étuve.	0,610	Acide carbon.	0,835	Eau	0,302
Eau contenue...........	0,0495				0,0495
Matière sèche...........	0,5605			Eau dosant l'hydrogène.	0,2525

Composition des excréments secs de la deuxième série.

Carbone........	40,63
Hydrogène......	5,00
Azote..........	9,12
Oxygène........	34,53
Matières salines.	10,72
	100,00

Le résumé des deux expériences se trouve consigné dans le tableau suivant.

Aliments consommés et excréments rendus par une tourterelle, pendant cinq jours. — 1re expérience.

	POIDS à l'état normal.	POIDS à l'état sec.	EAU contenue.	PRINCIPES CONTENUS DANS L'ALIMENT ET DANS L'EXCRÉMENT. Carbone.	Hydrogène	Oxygène.	Azote.	Matières salines.	POIDS DE LA TOURTERELLE avant et après l'expérience.
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Millet consommé......	76,64	65,91	10,73	30,37	4,15	27,52	2,17	1,70	Au commenc. 187,90
Excréments rendus....	37,30	15,04	22,26	5,96	0,77	5,15	1,39	1,77	A la fin...... 186,27
Principes éliminés en cinq jours................				24,41	3,38	22,37	0,78	"	"

Aliments consommés et excréments rendus par une tourterelle, pendant sept jours. — 2e expérience.

	POIDS à l'état normal.	POIDS à l'état sec.	EAU contenue.	PRINCIPES CONTENUS DANS L'ALIMENT ET DANS L'EXCRÉMENT. Carbone.	Hydrogène	Oxygène.	Azote.	Matières salines.	POIDS DE LA TOURTERELLE avant et après l'expérience.
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Millet consommé......	117,62	101,15	16,47	46,60	6,36	42,24	3,34	2,61	Au commenc. 186,70
Excréments rendus...	62,99	24,056	38,934	9,77	1,20	8,31	2,20	2,58	A la fin...... 185,47
Principes éliminés en sept jours..................				36,83	5,16	33,93	1,14	"	"
Principes éliminés en douze jours................				61,24	8,54	56,30	1,92	"	"
Principes éliminés en vingt-quatre heures..........				C 5,10	H 0,71	O 4,69	Az 0,16	"	"
Carbone brûlé dans une heure..................				0,212	"	"	"	"	"

En prenant la moyenne des résultats, on trouve qu'une tourterelle pesant environ 187 grammes brûle, en respirant pendant vingt-quatre heures, $5^{gr},10$ de carbone ; elle émet, en conséquence, dans le même espace de temps, $18^{gr},70$ d'acide carbonique et $0^{gr},16$ d'azote ; soit en volume : acide carbonique, $9^{lit.},441$; azote, $0^{lit.},126$. D'où il résulte que l'azote exhalé provenant de l'organisme est à peu près le centième en volume de l'acide carbonique produit, résultat conforme, quant au fait de l'exhalation de l'azote, à celui obtenu par Dulong et par M. Despretz, mais qui en diffère notablement sous le rapport quantitatif, en ce que l'azote exhalé, si on le compare au gaz acide carbonique, est en proportion beaucoup plus faible que dans les expériences de ces physiciens. Néanmoins, toute minime que soit cette quantité d'azote, elle constitue cependant le tiers de celle qui entre dans la ration alimentaire de la tourterelle ; dans la condition de nourriture où se trouvait placé ce granivore, les déjections ne renfermaient plus que les deux tiers de l'azote qui préexistait dans le millet consommé.

Ainsi, indépendamment des modifications que les aliments, ou plutôt le sang qui en dérive, subissent pendant la combustion respiratoire, on peut concevoir qu'une partie des principes azotés de l'organisme éprouve une combustion complète, de manière à donner lieu à de l'acide carbonique, à de l'eau et à de l'azote ; à moins de supposer que sous certaines influences, l'azote des composés quaternaires peut être éliminé en partie, en donnant naissance, par cette élimination, à des composés ternaires.

En consultant le tableau qui résume les deux expériences, on s'aperçoit que l'hydrogène et l'oxygène éliminés ne sont pas dans le rapport voulu pour constituer l'eau. En effet, l'oxygène dissipé dans un jour étant $4^{gr},69$, exigerait $0^{gr},636$ d'hydrogène ; par conséquent, l'hydrogène excédant, qui est brûlé comme l'est le carbone par le concours de l'oxygène de l'air, est alors $0^{gr},07$.

En considérant la respiration comme un phénomène de

combustion, les données précédentes indiqueraient qu'une tourterelle du poids de 187 grammes, respirant librement dans une atmosphère à 8 ou 10 degrés centig., où elle brûle en vingt-quatre heures, 5gr,1 de carbone et 0gr,07 d'hydrogène, peut dégager assez de chaleur pour entretenir sa masse à une température à peu près constante de 41 à 42 degrés, tout en volatilisant l'eau qui sort par la transpiration pulmonaire et cutanée, eau dont la quantité, comme on va le voir, s'élève à plus de 3 grammes.

Dans une première expérience, la tourterelle soumise au régime du millet a bu, en deux jours.	12gr,80 d'eau distillée.
Dans une autre expérience	12gr,70
En quatre jours	25gr,50; par jour 6,378.

Il est possible, maintenant, d'estimer approximativement la quantité d'eau que l'animal perdait par la transpiration :

	gr.
En douze jours la tourterelle a pris, avec les 194gr,26 de millet consommé, eau	27,30
Eau bue directement	76,50
Eau entrée	103,80
Eau contenue dans les 100gr,29 d'excréments humides	71,19
Différence ou eau sortie par la transpiration pulmonaire et cutanée.	32,71
Par jour	2,73
Eau formée dans un jour par les 0gr,07 d'hydrogène excédant	0,63
Eau totale éliminée en vingt-quatre heures par la transpiration	3,36

§ IV. — *Observations sur la quantité d'acide carbonique formée pendant la respiration de la tourterelle.*

Il m'a semblé d'autant plus nécessaire de contrôler, par des expériences directes, les résultats obtenus par la méthode indirecte qui vient d'être exposée, que ce contrôle peut, en quelque sorte, donner la mesure du degré de confiance que doit inspirer l'application de l'analyse organique à la physiologie.

Pour doser l'acide carbonique formé par la respiration, j'ai placé une tourterelle sous une cloche tubulée qui communiquait avec un système de tubes absorbants, à l'aide d'un aspirateur. On comprend aisément une expérience de ce genre, et si j'entreprends néanmoins d'en donner une

description, c'est que l'appareil qui a fonctionné dans mon laboratoire comportait une disposition qui a été jugée favorablement par divers physiciens de mes amis.

Cet appareil, *Pl. IV, fig.* 4, se compose d'une cloche de verre d'une capacité de 11 litres et munie d'une tubulure placée à la partie supérieure. Les bords inférieurs de la cloche sont dressés à la meule, de manière à poser hermétiquement sur une tablette de marbre ou sur une plaque de verre *v*. La tubulure A est fermée par un bouchon de liége solidement établi, scellé avec du mastic résineux, et convenablement percé pour laisser pénétrer dans l'intérieur les tubes de plomb dont il va être question : 1° un tube *b* qui, en suivant le contour de la paroi, aboutit en *b'*; 2° un tube, d'un diamètre un peu plus fort que celui *b'*, et qui aboutit en *d'*; enfin, un troisième tube qui pénètre seulement jusqu'en *e'*.

Le tube *b* est en relation, d'abord avec un flacon d'acide sulfurique qui retient la totalité de l'eau; puis à la suite de ce premier dessiccant suivi d'un tube à *ponce* sulfurique qui sert de *témoin* pour témoigner de la sécheresse de l'air, vient le système bien connu d'absorbants à potasse et à acide sulfurique, terminé également par des tubes *témoins* qui servent à constater l'absorption totale de l'acide carbonique; l'augmentation de poids de ce système absorbant donne la quantité d'acide carbonique.

L'air de la cloche appelé dans les tubes absorbants au moyen de l'écoulement régulier de l'eau d'un aspirateur est remplacé par de l'air pris à l'extérieur par le tube *ee'*; cet air arrive dans l'appareil avec l'humidité et l'acide carbonique qu'il peut contenir : l'eau n'est point un inconvénient; quant à l'acide, on le soustrait de celui qui est dosé. Cette correction, toujours assez faible, présente, sans aucun doute, moins d'inconvénients qu'une purification préalable de l'air extérieur.

Le tube *d'* est en communication directe avec un autre aspirateur muni d'un robinet qui permet un écoulement

très-abondant, de manière à renouveler très-rapidement l'air de la cloche, et voici dans quel but. Lorsque l'animal est introduit dans l'appareil, on lute les bords de la cloche avec la plaque de marbre au moyen du mastic des vitriers; comme il importe que cette opération soit faite avec soin, elle exige un certain temps, durant lequel l'acide carbonique s'accumule dans la cloche dont la capacité est toujours très-limitée. C'est pour obvier à cet inconvénient que l'aspirateur qui aspire par le tube *d'* est établi; au moment même où l'animal est placé, on détermine une aspiration des plus vives qu'on entretient pendant tout le temps du lutage. Quand le mastic est appliqué, on ferme l'aspirateur lié à *d'*, et l'on ouvre aussitôt l'autre aspirateur lié à *b'*; on note l'heure et la minute, afin de connaître exactement la durée de l'observation qui a commencé à un instant où, par l'effet du balayage rapide qu'on a exercé, il n'y avait pas sensiblement d'acide carbonique sous la cloche.

L'expérience terminée, l'acide carbonique dosé subit deux corrections; on en retranche l'acide carbonique provenant de l'atmosphère, et on y ajoute celui qui se trouvait dans la cloche à l'instant où l'appareil a cessé de fonctionner.

Ces corrections exigent que l'on connaisse le volume de l'air qui est entré dans l'aspirateur placé vers *b*, en passant par les tubes absorbants; c'est dans cette vue qu'on prend la température de l'air aspiré, et qu'on inscrit l'état du baromètre. Indépendamment de la tension de la vapeur aqueuse, il faut en outre, pour calculer la pression, tenir compte de la hauteur de la colonne d'acide sulfurique que l'air soulève en traversant le flacon dessiccant. Une fois que l'on connaît le volume réel de l'air contenu dans l'aspirateur, on a le poids de l'acide carbonique atmosphérique à déduire, en se rappelant que l'air introduit dans l'aspirateur a dû en laisser, dans les tubes absorbants, les $\frac{4}{10000}$ de son volume. Quant à la seconde correction, celle qui dépend de l'acide resté dans l'appareil, elle est d'autant moins considérable que la vitesse de l'air aspiré a été plus grande. On

réduit à 0 degré et à la pression de $0^m,76$ l'air de la cloche dont on connaît la capacité, la pression, qui est celle de l'atmosphère, et la température qui est indiquée par un thermomètre *t* fixé dans l'intérieur; on ne s'éloigne pas beaucoup de la vérité, en supposant qu'au moment où l'aspiration a cessé, l'air confiné dans l'appareil renfermait une proportion d'acide carbonique semblable à celle qui entrait dans la composition de l'air qui a traversé les tubes absorbants.

Je rapporterai maintenant les résultats que j'ai obtenus sur la respiration de la tourterelle qui avait été l'objet des observations précédentes et qui recevait le même régime.

DURÉE de l'expérience.	TEMPÉRATURE de la cloche au commenc.	à la fin.	ACIDE carbonique dosé.	ACIDE carbonique produit en 1 h.	CARBONE brûlé dans 1 heure.	REMARQUES	ÉPOQUES de la journée.
h. m.			gr.	gr.	gr.		h. m. h. m.
5.13	"	15°5	4,579	0,854	0,223	De jour.	De 11.12 à 4.25
6.43	13°0	15,0	7,611	1,133	0,309	De jour.	De 7.48 à 2.31
6.00	13,5	13,0	5,100	0,850	0,232	De jour.	De 10.55 à 4.55
3 26	13,0	15,0	1,844	0,537	0,147	De nuit.	De 6 13 à 9.39
5.14	14,0	12,2	3,197	0,651	0,177	De nuit.	De 5.39 à 10.53 (*)

(*) Depuis la rédaction de ce Mémoire, on a fait sur deux autres tourterelles quelques expériences dont voici les résultats :

SEXE ET POIDS de l'animal.	DURÉE de l'expérience.	TEMPÉRATURE de la cloche.	ACIDE carbonique dosé.	ACIDE carbon. produit en 1 heure.	CARBONE brûlé en 1 heure.	REMARQUES.	ÉPOQUES de la journée.
	h. m. s.		gr.	gr.	gr.		h. m. s. h. m. s.
Tourterelle mâle pesant 185 grammes.	1.42.00	19°5	1,318	0,865	0,236	Jour.	De 4.30. 0 à 6.12. 0
	1.42.00	21,5	1,484	0,874	0,238	Jour.	De 2.31. 0 à 4.13. 0
Tourterelle femelle du poids de 133 grammes.	1.32.30	17,0	1,078	0,773	0,211	Jour.	De 11.44 0 à 1 16.30
	1.24.00	18,5	1,041	0,728	0,198	Jour.	De 2. 5. 0 à 3.29. 0
	1.30 30	16,5	0,760	0,591	0,161	Nuit.	De 8 22. 0 à 9.52.30
	1.47.30	20,0	0,860	0,478	0,130	Nuit.	De 8. 1.30 à 9.49. 0

Un fait que l'on remarque à la première inspection du tableau, c'est la différence considérable qui existe entre les quantités d'acide carbonique exhalé durant le jour et durant la nuit. On a déjà observé une différence dans le même sens, en étudiant la respiration de l'homme. Dans la seconde expérience, la tourterelle a produit dans le même temps beaucoup plus d'acide carbonique que dans les deux autres observations faites le jour. Les deux expériences exécutées dans la nuit ont donné d'ailleurs, pour le carbone brûlé dans une heure, des nombres qui sont assez discordants. Le phénomène de la respiration paraît donc assez irrégulier, et il est vraisemblable qu'en déduisant d'une expérience de courte durée l'acide carbonique qu'un individu exhale dans un jour, on est exposé à obtenir un résultat peu exact. La grande différence qui existe entre les produits de la respiration pendant l'état de veille, ou durant le sommeil d'un animal, explique en quelque sorte cette irrégularité; car, dans le jour, surtout chez les animaux confinés dans un appareil, il survient souvent un état voisin de l'assoupissement, auquel succède quelquefois une extrême agitation.

Les analyses de la nourriture et des déjections ont donné, pour le carbone brûlé dans une heure par la tourterelle :

	gr.
La première expérience.	0,203
La seconde...........	0,219
Moyenne.......	0,211

En prenant le résultat moyen des observations directes consignées dans le tableau ci-dessus, et en supposant pour le jour entier douze heures de veille et douze heures de sommeil, ce qui était à peu près le cas à l'époque où les expériences ont été faites, on a :

	gr.
Carbone brûlé dans le jour..	0,258
Carbone brûlé dans la nuit..........	0,162
Carbone brûlé en une heure (moyenne).	0,198

§ V. — *Observations sur la respiration de la tourterelle mise à l'inanition.*

Un animal privé de nourriture éprouve chaque jour dans son poids, une perte assez régulière jusqu'à ce qu'il meure d'inanition. Les substances à composition ternaire, comme le sucre, la graisse, qui concourent évidemment à la nutrition quand elles sont associées à un principe azoté nourrissant, deviennent insuffisantes comme aliment unique; leur effet se réduit alors à prolonger un peu l'existence de l'individu qui les consomme. Sous ce rapport, le rôle de ces substances non azotées est analogue à celui des corps gras fixés dans les tissus. On sait, en effet, que les animaux chargés de graisse sont aussi ceux qui résistent le plus longtemps à une privation absolue de nourriture; et après leur mort, on peut constater la disparition presque totale de la graisse. Un animal doué d'un certain embonpoint, quand il a succombé d'inanition par suite d'un régime au sucre, peut présenter un cadavre notablement plus gras que si le même animal avait été soumis à une abstinence rigoureuse; dans cette circonstance, le sucre ingéré ménage en quelque sorte la matière grasse tenue en réserve dans l'organisme, mais sans empêcher que la plus grande partie en soit détruite, et des expériences faites sur des tourterelles, par M. Letellier, montrent que le beurre, administré seul comme aliment, agit à peu près comme le sucre. La graisse ingérée ne s'assimile plus quand il n'entre pas dans le régime un principe azoté nutritif. Dans cette circonstance, le sang brûlé pendant la respiration n'est plus régénéré par l'alimentation, il y a destruction des tissus propres à loger les globules, et l'énergie vitale indispensable à l'assimilation décroît avec rapidité.

Les modifications des principes azotés du sang en urée, en acide urique, en bile, etc., sont, sans aucun doute, tout aussi nécessaires à la vie que la combustion du carbone et

de l'hydrogène qui produit la chaleur animale ; ces modifications, qui sont peut-être la conséquence de cette combustion, ne cessent pas pendant l'inanition; seulement elles sont moins intenses, comme le deviennent d'ailleurs les phénomènes de la respiration. J'ai donc cru qu'il pouvait être intéressant de déterminer la proportion d'acide carbonique exhalé et la composition des déjections fournies pendant l'inanition; et afin de pouvoir comparer les résultats avec ceux obtenus sur un animal suffisamment nourri, j'ai mis en expérience la tourterelle qui avait été le sujet des recherches précédentes. La température de la pièce dans laquelle la cage était placée a varié de 7 à 12 degrés. La tourterelle avait de l'eau distillée à discrétion, mais en sept jours elle n'en a bu qu'une quantité insignifiante. Voici le tableau des pertes de poids éprouvées pendant l'inanition :

DATES DES PESÉES.	POIDS de la tourterelle	PERTE en 24 heures.	REMARQUES.
	gr.	gr.	
15 février à 4 h. du soir.	186,8		La tourterelle avait été nourrie au millet.
		8,78	
17 février à midi......	170,7		A l'inanition depuis quarante-quatre heures.
		7,20	
18 février à midi......	163,5		
		7,40	
19 février à midi.......	156,1		
		7,50	
20 février à midi.......	148,6		
		8,10	
21 février à midi.	140,5		
		6,70	
22 février à midi... ...	133,8		
		"	
22 février à 4 h. du soir.	132,9		
Perte en sept jours.....	53,9	"	
Par jour..............	7,7		

La tourterelle qui, au commencement de l'expérience, était grasse et vigoureuse, aurait très-probablement supporté encore plusieurs jours d'abstinence avant de mourir, quoique déjà, au bout des sept jours, elle eût maigri considérablement. Cependant elle se tenait toujours perchée, mais elle était dans un état de torpeur dont elle ne sortait qu'à de rares intervalles.

On trouvera dans le tableau suivant les quantités d'acide carbonique fournies par la tourterelle durant l'inanition.

DURÉE de l'expérience.	TEMPÉRATURE de la cloche avant.	après.	ACIDE carbonique dosé.	CARBONE brûlé dans 1 heure.	REMARQUES.	ÉPOQUES de la journée.
h. m.			gr.	gr.		h. m. h. m.
3 41	15°4	16°2	3,172	0,213	Avait mangé.	De 11.58 à 3 42 Jour.
5.00	14,0	14,0	2,095	0,114	Privée de nourrit. depuis 24 heures	De midi à 5.00 Jour.
3. 1	14,0	12,8	1,368	0,124	4e jour d'inanition	De 12.57 à 3.58 Jour.
3.17	14,0	13,8	1,767	0,113	6e jour d'inanition	De 12.20 à 3.37 Jour.
3.28	14,0	13,0	0,910	0,072	8e jour d'inanition	De 6 03 à 9.31 Nuit(*

La moyenne des trois premières observations faites pendant l'inanition indique 0gr,117 pour le carbone brûlé dans une heure. Une circonstance assez remarquable, qu'on pouvait d'ailleurs prévoir par suite de la régularité des pertes diurnes, c'est que l'animal a exhalé, à toutes les époques de l'expérience, sensiblement la même quantité d'acide car-

(*) Voici de nouvelles observations sur une autre tourterelle mise aussi à l'inanitio

SEXE et poids de l'animal.	DURÉE de l'expérience.	TEMPÉRATURE de la cloche	ACIDE carbonique dosé.	ACIDE carbonique prod. en 1 heure.	CARBONE brûlé en 1 heure.	REMARQUES.	ÉPOQUES de la journée.
	h. m. s.		gr.	gr.	gr.		h. m. s. h. m. s
Tourterelle mâle du poids de 176 gr.	1.42. 0	18°0	0,710	0,419	0,114	Après deux jours d'inanition.	De 12. 7. 0 à 1.49. 0
	1.40. 0	17,5	0,706	0,445	0,121	Après quatre jours d'inanition.	De 12.58. 0 à 2.38. 0
	1.44 0	17,0	0,606	0,349	0,095	Après onze heures seulem. d'inanit.	De 8.58. 0 à 10.42. 0
	1 43. 0	18,5	0,470	0,268	0,073	Après trente-six heures d'inanit.	De 8. 5. 0 à 9.48. 0
	2. 0. 0	18,0	0,451	0,237	0,065	Après deux jours et demi.	De 8.35. 0 à 10.35. 0
	1.44.30	17,0	0,473	0,281	0,077	Après trois jours et demi.	De 8.28.30 à 10.13. 0
	1.28.30	16,5	0,409	0,282	0,077	Après quatre jours et demi.	De 8.29. 0 à 9.57.30

bonique dans un temps déterminé. La tourterelle soumise à l'inanition a produit, durant le sommeil, moins d'acide que pendant l'état de veille, comme cela a eu lieu lorsqu'elle recevait une alimentation abondante. En admettant l'égalité dans la durée du jour et la durée de la nuit, le carbone brûlé en vingt-quatre heures s'élèverait à 2^{gr},280. La quantité de carbone brûlé par la tourterelle nourrie avec du millet a été, dans le même temps, de 5^{gr},1.

Il était assez curieux de déterminer la rapidité avec laquelle la tourterelle *inanitiée* tendrait à revenir à son poids initial; en conséquence, immédiatement après la dernière pesée exécutée pendant l'inanition, on a donné 20 grammes de millet qui ont été mangés en 13 minutes. La tourterelle a bu abondamment; le lendemain elle a mis une heure pour consommer la même dose de graines; les jours suivants, le repas a eu lieu comme dans les circonstances ordinaires. Voici, au reste, quel a été l'accroissement du poids de la tourterelle remise au régime du millet après sept jours d'inanition.

DATES DES PESÉES.	POIDS.	MILLET consommé entre les deux pesées.	AUGMENTATION du poids entre les pesées.	AUGMENTATION du poids en 24 heures.	REMARQUES.
22 févr. 4 h. du soir.	gr. 132,9	gr. 20,0	gr. 16,8	gr. 16,8	Après sept jours d'inanition.
23 févr. 4 h. du soir.	149,7	20,0	19,8	19,8	
24 févr. 4 h. du soir.	168,8	65,0	2,5 perte	— 0,83	
27 févr. 4 h. du soir.	166,3	60,0	2,0	1,0	
29 févr. 4 h. du soir.	168,3				
Gain en sept jours.	35,4				
Gain par jour.....	5,06				

Ainsi, dans les deux premiers jours d'alimentation, l'augmentation de poids a été considérable, mais il y a eu subitement un temps d'arrêt. Après sept jours d'une nourriture

abondante, la tourterelle avait retrouvé toute sa vivacité; cependant elle était restée maigre, elle n'avait pas récupéré à beaucoup près le poids qu'elle avait perdu. Ces faits s'expliquent, je crois, tout naturellement, quand on adopte l'opinion que nous professons sur l'engraissement, MM. Dumas, Payen et moi. En effet, la perte éprouvée durant l'inanition a été la conséquence de la combustion du sang et de celle de la graisse accumulée dans l'organisme de la tourterelle; nous avons vu que cette perte s'est élevée à $53^{gr},9$. Dès la première période de l'alimentation, le gain en poids vivant a été de $35^{gr},4$. L'animal n'a repris en sept jours qu'à peu près les deux tiers de ce qu'il avait perdu. L'augmentation de poids vivant, si rapide dans cette circonstance, est due vraisemblablement au sang régénéré par l'aliment et la boisson. Le millet consommé contenait, et au delà, tous les éléments de cette régénération; mais ce qu'il ne contenait pas, ce qu'il n'a pu par conséquent restituer à l'organisme, c'est la totalité de la graisse qui avait été détruite par l'inanition. Aussi, la tourterelle n'a pas recouvré son embonpoint; moins de sept jours d'un régime abondant ont suffi pour la remettre en chair, mais nullement pour l'engraisser, pour la ramener à la condition de gras où elle était au commencement de l'expérience. La raison en est facile à saisir. Le millet, d'après une analyse faite dans mon laboratoire, contient, dans l'état où il a été consommé, 3 pour 100 d'une matière grasse solide, très-fusible, d'un blanc légèrement jaunâtre. Les 165 grammes de millet ingérés en sept jours n'ont donc pu apporter que 4 grammes de graisse. Or, l'on sait, par les expériences de M. Letellier, qu'une tourterelle d'un embonpoint ordinaire perd en vingt-quatre heures d'inanition, environ $2^{gr},5$ de graisse. En sept jours, l'individu qui a fait le sujet de l'observation actuelle, a dû en perdre $17^{gr},5$; et l'on voit maintenant que ce même individu devait consommer

au moins 583 grammes de millet pour remplacer la graisse qu'il avait perdue (1).

---

(1) Une autre tourterelle, privée d'aliments et de boissons pendant neuf jours, s'est comportée d'une manière analogue.

	gr.
Son poids initial était de	175,6
Il est descendu après neuf jours d'inanition à.	112,5
Perte en neuf jours. . .	63,1
Perte par jour.	7,0

Trois jours après avoir été rendue à l'alimentation normale, son poids est devenu 143gr,7; il s'était même élevé la veille à 153 grammes; mais on avait constaté que le jabot contenait, dans ce dernier cas, une certaine quantité d'aliments qu'on pouvait évaluer à 10 ou 12 grammes. Cette tourterelle avait donc, dans l'espace de deux ou trois jours, récupéré 30 grammes environ de son poids, et réparé ainsi la moitié de la perte qu'elle avait faite.

Dès lors elle est devenue presque stationnaire.

	gr.
Elle a pesé le quatrième jour. . .	143,7
le cinquième.	144,5
le sixième.	148,0
le septième.	150,1
le huitième.	150,3
le dixième.	153,0
le treizième.	155,0
Enfin, le vingtième.	157,3

Cet oiseau a offert aussi quelques particularités dans la quantité d'acide carbonique qu'il a produite lorsqu'il a été remis à l'alimentation régulière.

Vingt-quatre heures après que les aliments lui eussent été rendus, il a brûlé seulement :

	gr.	
	0,168	de carbone par heure,
Au commencement du troisième jour .	0,206	pendant le jour.
Au milieu du quatrième . . .	0,249	id.
Au milieu du sixième.	0,259	id.
Le douzième. . . .	0,250	id.

Il brûlait, avant d'avoir été soumis à l'inanition, dans son état normal, en moyenne 0gr,232 de carbone par heure, pendant le jour.

La faiblesse où tous les organes devaient se trouver après une aussi longue inanition explique pourquoi, les premiers jours, la production d'acide carbonique a été plus faible qu'on ne l'avait observée avant l'expérience. On voit cependant que l'assimilation a été bien plus active ces jours-là que les suivants, où la quantité de carbone brûlé a surpassé celle de l'état normal.

§ VI. — *Examen des excréments de la tourterelle soumise à l'inanition.*

Pendant la durée de l'inanition, la tourterelle a rendu chaque jour, des matières excrémentitielles demi-liquides, glaireuses d'un vert d'herbe, et dans lesquelles on apercevait des parties blanches d'acide urique. Cette matière glaireuse a tous les caractères d'une sécrétion bilieuse, de sorte qu'il est, je crois, permis de conclure que les produits de la digestion du sang et de la graisse de la tourterelle sont de la bile et les principes azotés qui font partie de l'urine des oiseaux.

Les excréments ont été recueillis sur une plaque de verre et desséchés chaque jour à une douce chaleur, pour prévenir toute altération putride. A la fin de l'expérience, on les a broyés pour les mêler, puis on a achevé la dessiccation dans le vide sec, à la température de 130 à 135 degrés. La matière recueillie en sept jours, et amenée à cet état de siccité, a pesé $2^{gr},755$. Sa couleur, par suite du mélange intime de l'acide urique avec la bile, était d'un vert pâle.

Analyse des excréments secs.

Carbone et hydrogène. — I. $0^{gr},421$ ont donné : acide carb., $0^{gr},493$; eau, $0^{gr},164$ = C 31,93, H 4,30.

Carbone et hydrogène. — II. $0^{gr},377$ ont donné : acide carb., $0^{gr},442$; eau, $0^{gr},150$ = C 31,97, H 4,40.

Azote. — $0^{gr},305$ ont donné : azote, 64 c.c. ; temp., 16° ; bar. à 0°, $0^{m},7618$. Azote pour 100, 24,74.

Cendres. — $0^{gr},761$ ont laissé $0^{gr},081$ de cendres ; pour 100, 10,64.

	Composition des excréments secs.	Abstraction de la cendre.
Carbone........	31,95	35,7
Hydrogène......	4,35	4,9
Azote..........	24,74	27,7
Oxygène........	28,32	31,7
Matières salines.	16,40	"
	100,00	100,00

Dans un jour (vingt-quatre heures), la tourterelle privée de toute nourriture a rendu $0^{gr},3935$ de déjections supposées sèches, contenant, d'après l'analyse précédente :

$$C\ 0^{gr},1257,\ H\ 0^{gr},0171,\ O\ 0^{gr},1114,\ Az\ 0^{gr},0974.$$

Les excréments de la tourterelle, dérivant de la nourriture au millet et rendus dans un jour, contenaient :

$$C\ 1^{gr},341,\ H\ 0^{gr},164,\ O\ 1^{gr},122,\ Az\ 0^{gr},299.$$

Ainsi, le carbone, l'hydrogène et l'oxygène renfermés dans les déjections recueillies dans un jour d'inanition ne sont que le dixième des mêmes éléments compris dans les excréments provenant d'une alimentation normale. Pour l'azote on a le tiers.

Si, en partant de la composition du sang, nous cherchons à déterminer la quantité de ce fluide qui est brûlée pendant la respiration de la tourterelle mise à l'inanition, nous arrivons à une conclusion d'un certain intérêt physiologique ; car nous avons ainsi une nouvelle preuve de l'intervention de la graisse dans la respiration d'un animal *inanitié*.

Soit, en effet, la composition du sang (privé de cendres) :

	gr.
Carbone....	54,4 (*)
Hydrogène..	7,5
Azote......	15,9
Oxygène....	22,2
	100,0

Si, en se fondant sur les résultats des recherches exposées dans la première partie de ce Mémoire, on admet que l'azote exhalé par la respiration des granivores est la moitié de l'azote qui se trouve dans les déjections, on a, pour la totalité de ce principe rendu en vingt-quatre heures par la tour-

(*) J'ai malheureusement négligé d'analyser le sang de la tourterelle ; je prends ici l'analyse du sang due à M. Bœckmann.

terelle à l'inanition :

	gr.
Dans les déjections...	0,097
Par la respiration....	0,0485
	0,1455

quantité d'azote qui représente $0^{gr},915$ de sang sec et renfermant : C 0,498, H 0,069, O 0,203, A 0,145. La quantité de carbone indiquée ici est évidemment beaucoup trop faible, puisque nous avons reconnu, par une observation directe, que la tourterelle en brûle réellement 2,406; à ce nombre on doit ajouter les 0,126 de carbone de déjections. Il faut donc, comme le prouvent d'ailleurs les expériences de M. Letellier, que la graisse concoure avec le sang à entretenir la chaleur et à prolonger la vie des animaux qui sont privés de nourriture.

	gr.
La totalité du carboue émis par la tourterelle étant	2,532
Le carbone ayant le sang pour origine...........	0,498
La différence...........	2,034

doit provenir de la graisse dont on peut représenter la composition par :

	gr.
Carbone....	79,0
Hydrogène..	11,4
Oxygène....	9,6
	100,0 (*)

Les $2^{gr},034$ de carbone représenteraient alors 2,575 de matière grasse contenant :	C	2,034	H	0,294	O	0,247
Dans le sang digéré on doit supposer....	C	0,498	H	0,069	O	0,203
Somme.........		2,532		0,363		0,450
Dans les déjections on a trouvé.........	C	0,126	H	0,017	O	0,111
Différences.....	C	2,406	H	0,277	O	0,136

Les $0^{gr},136$ d'oxygène prendraient 0,017 d'hydrogène pour former de l'eau; par conséquent, en vingt-quatre

(*) Je n'ai pas analysé la graisse de tourterelle; j'ai pris la moyenne des compositions suivantes données par M. Chevreul :

C	79,1	H	11,1	O	9,8	graisse de porc.
	79,0		11,7		9,3	suif.
	79,0		11,6		9,6	graisse humaine.

heures, la tourterelle à l'inanition brûle C 2,41, H 0,26, fixant 11,20 d'oxygène de l'air. La tourterelle alimentée avec du millet brûle C 5,10, H 0,12, fixant 19,79 d'oxygène de l'air.

Dans ses belles recherches sur l'inanition, M. Chossat a reconnu que les tourterelles privées de nourriture conservent néanmoins, pendant leur existence, une température peu différente, seulement un peu inférieure, à ce qu'elle est pendant l'alimentation normale (1). On devait s'attendre, d'après cela, à trouver que, dans le cas de l'inanition, une tourterelle brûlerait à peu près la même somme d'éléments combustibles qu'elle en brûle dans les conditions ordinaires.

(*) Il résulte, en effet, des observations nombreuses recueillies par M. Chossat sur des pigeons et des tourterelles, que pendant l'inanitiation et à l'heure de midi, la chaleur animale ne s'abaisse que d'un demi-degré au-dessous de celle observée à la même heure dans l'alimentation régulière ; et qu'elle ne descend pas en moyenne, à minuit, de plus de 3 degrés au-dessous de celle de l'état normal à la même heure.

Ces températures sont en moyenne:

	Midi.	Minuit.
Dans l'état normal....	42°,22	41°,48
Pendant l'inanitiation..	41°,70	38°,42
Différence......	0°,52	3°,06

Les expériences de M. Chossat établissent encore les faits suivants :

1°. La chaleur animale éprouve toutes les vingt-quatre heures une oscillation régulière, au moyen de laquelle elle s'élève pendant le jour et s'abaisse pendant la nuit, et cette oscillation, qui est = 0°,74 dans l'état normal, devient dans l'inanitiation = 3°,28.

2°. L'oscillation diurne inanitiale est d'autant plus étendue, que l'inanition a déjà fait plus de progrès ; de telle façon que l'oscillation de la fin de l'expérience est à peu près double de celle du début.

3°. Les heures de midi et de minuit sont bien les époques du maximum et du minimum de la chaleur animale. Mais l'oscillation diurne n'attend pas ces heures-là pour se développer. C'est ainsi que, pendant les différentes parties du jour proprement dit, la chaleur se rapproche plus ou moins de celle de midi; tandis que, pendant la nuit, elle se rapproche de celle de minuit.

4°. Enfin, dans le cours d'une même expérience, l'abaissement nocturne se prolonge d'autant plus avant dans la matinée, et commence d'autant plus tôt dans l'après-midi, que l'animal se trouve déjà plus affaibli par la durée préalable de l'inanitiation.

Nous voyons cependant que, par le fait de la respiration, l'animal inanitié ne brûle qu'environ la moitié du carbone et de l'hydrogène qu'il consomme, sous l'influence du régime alimentaire : ce résultat peut paraître assez surprenant. Il est vrai que, par suite de l'abstinence, la masse de la tourterelle diminue rapidement ; il faut encore ajouter que, dans l'alimentation, il y a chaque jour près de $3^{gr}\ \frac{1}{2}$ d'eau vaporisée par la transpiration, et que la boisson et l'aliment, ingérés à la température de l'atmosphère, donnent lieu à $8^{gr}\ \frac{1}{2}$ d'excréments qui sont expulsés à la température de 42 degrés. Dans le cas d'inanition, le poids des déjections humides ne dépasse certainement pas 2 grammes, et comme la tourterelle buvait à peine, on peut concevoir que la presque totalité de l'humidité éliminée provenait du sang digéré ou brûlé, et dans cette supposition très-vraisemblable, l'eau entraînée par la transpiration n'atteindrait pas 2 grammes. On entrevoit ainsi que, dans l'inanition, il doit y avoir beaucoup moins de chaleur animale dépensée pour échauffer ou pour volatiliser, que durant la nutrition.

J'ai admis, en partant de l'azote des déjections, qu'en vingt-quatre heures la tourterelle inanitiée a consommé $0^{gr},915$ de sang sec. Cette supposition semble confirmée par la perte diurne éprouvée par l'animal. En effet, MM. Dumas et Prevost ont trouvé dans le sang de pigeon 0,80 d'humidité ; adoptant ce nombre, on a pour le sang aqueux digéré ou brûlé en vingt-quatre heures, par la

tourterelle	$4^{gr},58$
La graisse brûlée ou digérée a été	$2^{gr},58$
Principes éliminés par l'organisme en 24 heures	$7^{gr},16$
Or, la tourterelle a perdu par jour, pendant l'inanition	$7^{gr},70$

RECHERCHES SUR LA CONCENTRATION DE LA FORCE MAGNÉTIQUE VERS LES SURFACES DES CORPS MAGNÉTISÉS;

PAR M. LE Dr DE HALDAT.

J'ai publié en 1828 une Notice sur la condensation de la force magnétique à la surface des aimants (1), dans laquelle j'ai rassemblé quelques-uns des faits les plus propres à éclairer une question dont la solution est de nature à établir une nouvelle analogie entre les propriétés des corps à l'état électrique et ceux qui possèdent la force magnétique; mais les faits que j'ai rapportés n'ayant été fondés que sur un petit nombre d'expériences dont les résultats peu prononcés, variables, parfois équivoques, n'ont pu résoudre exactement la question, j'ai dû me livrer à de nouvelles recherches sur ce sujet, à l'imitation de Nobili, qui l'a examiné avant moi. J'avais, dans mes premières expériences, cherché à reconnaître si, en formant des assemblages de fils de fer de diamètres divers, dont une partie, magnétisée, se plaçait au centre d'un faisceau formé de fils semblables, mais non magnétisés, la force magnétique passerait du centre à la surface du cylindre et s'y condenserait. Les résultats ayant été nuls en employant des fils d'acier, qui, par leur force coercitive trop énergique, s'opposent à la propagation de la force magnétique, et s'étant montrés douteux pour les fils de fer non recuits, et même pour ceux qui étaient recuits, j'y ai substitué des lames de tôle de fer mince de 15 centimètres de longueur et de 15 millimètres de largeur, dont j'ai formé des faisceaux, dans lesquels les lames qui occupaient le centre avaient été magnétisés; cependant ce mode qui semblait plus propre à la solution s'étant encore montré inefficace, j'ai eu recours à des prismes creux d'acier, qui

---

(1) *Mémoires de l'Académie de Nancy* en 1828.

recevaient dans leur intérieur des prismes de même substance magnétisés, qu'on pouvait en extraire après qu'ils y avaient séjourné le temps nécessaire à la propagation de la force magnétique. C'est à ce procédé que je suis revenu, mais en lui faisant éprouver des modifications propres à rendre la force magnétique communiquée plus énergique, plus constante et par cela même plus facilement appréciable. Au prisme quadrilatère j'ai substitué un tube de fer doux, formé d'un tronçon de canon de fusil de 20 centimètres de longueur et de 22 millimètres de diamètre extérieur, qui, régulier, bien poli en dehors comme en dedans, admet dans sa capacité un cylindre plein, de 16 millimètres de diamètre et du poids de 340 grammes. Ce tube est fermé, à l'une de ses extrémités, par un tampon de fer hermétiquement ajusté, et à l'autre, par un bouchon à vis qui remplit l'espace vide et presse modérément le cylindre intérieur; le cylindre extérieur est enveloppé d'un tube de cuivre très-mince, recouvert d'un fil de cuivre garni de soie de 1 millimètre de diamètre; ce fil forme trois couches concentriques répondant aux deux extrémités, et couvrant les deux tiers de l'enveloppe. Un couple cuivre-zinc, d'une surface assez grande, reçoit à ses deux pôles les extrémités de ces fils, qui développent dans le tube de fer la force magnétique dont l'intensité est mesurée par trois procédés différents.

Premier procédé. — 1°. *Par les poids soutenus.* — Dans ce procédé, notre appareil, placé dans une direction verticale, est fixé au moyen d'une échappe adaptée à l'une de ses extrémités; à l'autre s'ajuste un contact de fer doux qui peut recevoir des poids dont la masse exigée pour en opérer l'arrachement représente la force magnétique acquise à l'appareil par le courant que conduisent les fils qui en joignent les pôles. Six expériences faites à peu d'intervalle les unes des autres, afin de maintenir plus d'égalité dans l'action de la pile, ont prouvé que la force acquise à l'ap-

pareil, qui était représentée par 4 kilogrammes, conserverait la même intensité, soit que le tube de fer magnétisé par induction fût vide, ou qu'il fût rempli par le cylindre accessoire qu'on peut y introduire. On connaît assez les difficultés qu'on rencontre dans l'appréciation de la force attractive des aimants par ce procédé, pour ne pas s'attendre à une détermination rigoureuse, soit à raison de l'inexactitude du contact entre les parties de l'appareil réunies par la force magnétique, soit à raison de la manière dont s'opère la séparation; cependant, en faisant état de la conformité des résultats obtenus par ce procédé avec ceux que l'on obtient par d'autres méthodes plus précises que nous ferons connaître, ils établissent en général : 1° que la masse dans les aimants n'a que très-peu d'influence sur leur puissance; 2° que la force magnétique réside principalement, si ce n'est absolument, près de la surface des corps magnétisés.

Deuxième procédé. — 2°. *Par les oscillations de l'aiguille.* — Ce procédé consiste à faire osciller une aiguille aimantée, placée dans sa direction normale à une distance constante de notre tube de fer doux, vide ou rempli de son cylindre additionnel, et à compter le nombre des oscillations qu'elle exécute en un temps donné, pendant que l'appareil est soumis à l'influence du courant qui le constitue à l'état magnétique. La distance du pôle nord de l'aiguille au pôle sud de l'aimant étant de 3 centimètres, elle a constamment donné 65 à 70 oscillations doubles par minute, dont la moyenne 62 $\frac{1}{2}$ n'a offert que des différences de peu de valeur, soit que le tube ait été magnétisé lorsqu'il contenait son cylindre complémentaire ou qu'il était vide, soit qu'il l'ait été lorsqu'il était rempli de limaille de fer bien tassée, ou qu'on y avait substitué un faisceau cylindrique de fils de fer doux, propre à remplir sa capacité.

Troisième procédé. — 3°. *Par les courants d'induction.* — L'appareil employé dans ce procédé se compose

de deux parties : 1° de notre tube de fer doux, pourvu ou privé de son cylindre additionnel, et armé de sa garniture de fils de cuivre couverts de soie ; 2° de deux pièces de fer doux qui se fixent solidement à ses extrémités, par le moyen desquelles on le met en contact avec la seconde partie de l'appareil, aussi composée d'un cylindre de fer doux de 24 centimètres de longueur, de 2 centimètres de diamètre et du poids de 500 grammes, armé comme le tube d'un manchon de cuivre mince enveloppé de fils de cuivre couverts de soie. La force magnétique est développée dans le tube de fer par un couple d'assez grande dimension, et dans le cylindre, par l'induction de ce même tube de fer. Le cylindre d'induction communique, par son armature, avec une boussole de sinus, dont l'aiguille indique la force magnétique développée dans le cylindre. Les expériences faites avec cet appareil, comme susceptibles des résultats plus exacts que ceux énoncés précédemment, ont été répétées un grand nombre de fois et de deux manières différentes :

1°. En séparant violemment les deux aimants, cas dans lequel l'aiguille de la boussole de sinus s'est écartée, terme moyen, de 15 à 20 degrés de la normale ;

2°. En approchant lentement l'aimant induit du tube de fer armé ou aimant inducteur, et en n'établissant le contact entre les deux parties de l'appareil que quand les pôles des deux aimants se trouvaient à une très-petite distance l'un de l'autre ; l'aiguille prenant alors une direction très-voisine de celle qu'elle conserve ensuite, il est bien plus facile d'apprécier son écartement de la normale qui mesure la force magnétique du tube de fer doux, formant la première partie de l'appareil. De toutes ces expériences réunies et comparées, il résulte donc que le tube qui remplit le rôle d'aimant inducteur, pourvu ou privé de son cylindre complémentaire (accessoire), qu'il ait été rempli d'une quantité suffi-

sante de limaille de fer ou de faisceaux de fils de ce métal, a constamment déterminé dans la boussole le même écartement de la normale.

La sensibilité assez faible de la boussole de sinus n'ayant donné que des indications limitées entre 15 à 20 degrés d'écartement de la normale, j'ai dû craindre qu'elles ne soient insuffisantes; c'est pourquoi je les ai contrôlées, en consultant l'aiguille magnétométrique de Schweiger, destinée à la mesure des courants thermoélectriques ou à fils courts. Elle a été disposée de la même manière que la boussole, après avoir toutefois diminué la puissance du courant par l'interposition d'un fil conducteur mince et de plusieurs mètres de longueur, et l'emploi d'un couple cuivre-zinc de très-petite dimension. Employée avec ces précautions, l'aiguille a présenté, terme moyen, une déviation constante de 40 à 45 degrés. Si maintenant nous examinons les faits que nous venons de rapporter, nous ne pouvons méconnaître le peu d'influence exercée par la masse dans les aimants par induction, et par conséquent dans tous les autres, quel que soit leur espace, puisqu'ils ne diffèrent entre eux que par la constance dans l'état magnétique, permanent dans les uns et transitoire dans les autres, identiques enfin selon la doctrine d'Ampère; je me suis servi du terme *peu d'influence*, pour ne pas dire nullité absolue d'influence, parce que les expériences de ce genre ne sont pas susceptibles d'une rigoureuse exactitude.

De cette conséquence il en résulte nécessairement une autre dont le but est relatif à la construction des aimants : c'est que l'on augmenterait inutilement la masse, toutefois en considérant que ce principe n'est exact qu'entre certaines limites qui dépendent de la nature chimique du métal, de la disposition intime de ses molécules constitutives, de la dureté de sa trempe et de sa forme, conditions que l'expérience peut seule apprécier. L'autre conséquence que nous tirons des faits précédemment exposés, relativement à la

théorie générale du magnétisme, et à laquelle il me semble impossible de refuser son assentiment, quand on se rappelle la nullité d'influence du cylindre additionnel, c'est que leur force réside à la surface ou près de leur surface. Les faits qui établissent ce principe nous offrent à la fois une analogie remarquable entre l'état magnétique et l'état électrique; et une différence qui n'est pas moins étonnante, c'est que le vide qui exerce, comme on sait, une si grande influence sur les uns, est absolument impuissant sur les autres.

Ces recherches concernant l'influence exercée par la masse des corps sur la force magnétique qu'ils peuvent acquérir, ont des relations trop directes avec la question relative à la puissance communiquée au fer par les courants pour ne pas s'être offertes à ma pensée; elles n'ont pu sans doute être négligées par les physiciens qui, comme M. Jacobi, ont dirigé leurs vues sur l'emploi magnétique comme source d'un pouvoir dynamique, susceptible d'être appliqué aux machines; mais, comme dans les questions d'une telle importance, on ne peut trop multiplier les faits, j'ai cherché dans quel rapport croît la force d'un aimant donné de masse et de volume, sous l'influence des courants d'intensité variée. L'appareil employé à la solution de cette question était composé d'un petit fer cylindrique, courbé en fer de cheval, qui, redressé, aurait 40 centimètres de longueur, 20 millimètres de diamètre et un poids de 500 grammes; il est inutile de dire qu'il est armé d'une garniture convenable de fils de cuivre couverts de soie. Le couple employé pour développer le magnétisme dans cet aimant temporaire était formé de lames de cuivre et de zinc, de 400 centimètres carrés de surface. Cette paire cylindrique a été divisée en six bandes horizontales égales, qui devaient donner des courants dont on peut supposer les intensités proportionnelles aux surfaces immergées dans l'eau acidulée.

Supposant donc cette égalité d'action entre les surfaces

immergées dans un liquide excitateur, dont le volume est assez considérable pour conserver une activité égale durant les expériences, à raison du soin que l'on a de réparer les pertes qu'il éprouve et de rendre sa densité uniforme par une agitation réitérée, les résultats ont été tels qu'ils sont indiqués dans le tableau suivant :

Numéros des expériences.	Étendue des surfaces immergées.	Force employée pour séparer l'ancre de l'aimant.
1	1	5 kilog.
2	2	10
3	3	15
4	4	17 à 18
5	5	15
6	6	13 à 14

La force attractive développée dans l'aimant temporaire a été mesurée par un dynamomètre fort exact; la force acquise dans les quatre premières expériences croît comme l'étendue de la surface du couple immergé; elle décroît de la quatrième, quoique l'étendue de la surface immergée croisse toujours dans le même rapport, ce qui indique que la surexcitation du fer, loin d'augmenter sa force magnétique, la diminue au contraire d'une manière très-remarquable. Ce résultat, qui me semblait digne d'un examen plus exact, a été vérifié par les oscillations de l'aiguille et par notre aimant cylindrique, déjà employé, et dont les pôles sont armés de la même manière. Le liquide excitateur étant renouvelé, nous avons obtenu les résultats suivants :

Numéros des expériences.	Étendue de la surface de la pile employée.	Nombre des oscillations de l'aiguille par minute.
1	1	90
2	2	120
3	3	150
4	4	170
5	5	160
6	6	145

Quoique les forces acquises par les courants dont la puissance croît comme les nombres 1, 2, 3, 4, n'offrent pas dans ces deux tableaux un parfait accord, il n'en résulte

pas moins que la puissance des aimants n'augmente pas comme celle des courants, et que, par conséquent, le développement de cette force a une limite au delà de laquelle elle ne peut être portée; qu'il y a, par conséquent, une proportion à établir entre la masse du fer à magnétiser, sa surface, sa forme et la puissance du courant employé à la développer, proportion qui doit être soigneusement établie quand on veut user de la force magnétique comme agent en mécanique.

Pl. IV, Fig. 5.

A, pile électrochimique;
B, B′, réophores et leurs vases à mercure;
C, C′, réophores;
DD′, cylindre inducteur en fer creux, avec son cylindre additionnel;
E, E′, tiges de communication;
FF′, cylindre en fer doux ou induit;
C,C′, réophores communiquant avec la boussole;
HH′, boussole de sinus.

SUR LE LANTHANE ET LE DIDYME, NOUVEAUX MÉTAUX ASSOCIÉS AU CÉRIUM, ET SUR L'ERBIUM ET LE TERBIUM, NOUVEAUX MÉTAUX ASSOCIÉS A L'YTTRIA;

PAR M. le professeur C.-G. MOSANDER.

(*Philosophical Magazine*, tome XXIII, page 241.)

Quoique je n'eusse pas l'intention de communiquer encore les résultats imparfaits de mes recherches sur le cérium et le lanthane, le travail intéressant du professeur Scherer m'a fait penser qu'il pourrait être utile de publier, dès à présent, quelques parties de mon travail, afin que les chimistes ne s'exposent pas à perdre un temps précieux, et qu'ils auraient pu employer plus utilement.

Lorsque je fis quelques expériences sur le cérium, il y a seize ans, plusieurs circonstances me portèrent à penser que l'oxyde de ce métal était accompagné de quelque autre oxyde, que je ne pus pourtant réussir à séparer, et le manque de matière m'empêcha de poursuivre cette recherche. M'étant procuré de nou-

veau, il y a quelques années, une certaine quantité de cérite et de cérine, j'ai préparé le sulfate double de cérium et de potasse; le produit a été lavé avec une dissolution de sulfate de potasse jusqu'à ce que le liquide filtré ne donnât plus aucune trace de précipité par l'ammoniaque caustique ou le carbonate de soude; j'obtins un sel qui me parut dépouillé de toute substance étrangère; je décomposai ensuite ce sel double par la voie humide avec du carbonate de soude, et c'est avec le carbonate de protoxyde de cérium ainsi obtenu, que j'ai fait toutes les expériences dont il va être question.

Après avoir examiné pendant longtemps les divers sels de protoxyde de cérium, je ne réussis pas à découvrir de sel contenant le nouvel oxyde, dont l'existence cependant me paraissait de plus en plus probable, à mesure que je poursuivais mes expériences. Le cérium formant deux oxydes, je pensai qu'en exposant l'hydrate de protoxyde de cérium mêlé avec l'eau, à l'action du chlore, il se formerait du peroxyde de cérium, tandis que l'oxyde métallique, plus électro-positif, se dissoudrait dans le liquide; c'est en effet ce qui eut lieu lorsqu'on introduisit le chlore dans la liqueur; on observa promptement des changements dans l'hydrate de protoxyde de cérium; son volume diminua, et il tomba au fond du vase une poudre pesante, brillante, d'un jaune orangé. Si l'on filtre la liqueur lorsque le chlore ne paraît plus y apporter de changement, on obtient une dissolution incolore ayant une odeur prononcée d'acide hypochlorique, et qui, traitée par l'hydrate de potasse en excès, dépose un précipité qui, réuni sur un filtre, est blanc ou légèrement violet. Ce précipité devient bientôt jaune au contact de l'air; si on le mélange de nouveau avec de l'eau et du chlore, la plus grande partie se dissout, et il se forme encore de l'oxyde jaune qui ne se dissout pas. La dissolution filtrée forme de nouveau, avec la potasse caustique, un précipité qu'on traite, comme auparavant, par le chlore. On répète cinq ou six fois ces traitements, jusqu'à ce qu'enfin l'hydrate de potasse précipite de la dissolution un oxyde qui ne jaunit nullement au contact de l'air, et qui, en suspension dans l'eau, se dissout complétement par l'action du chlore, en ne laissant aucune trace d'oxyde jaune. C'est à cet oxyde, qui n'est suroxydé ni par l'air ni par le chlore, que j'ai donné le nom d'*oxyde de lanthane,* après avoir étudié d'une manière plus complète ses propriétés, en employant une autre méthode plus simple pour l'obtenir. Les propriétés éminemment basiques de ce nouvel oxyde offraient des moyens aisés de le séparer de l'oxyde de cérium, en traitant par l'acide nitrique étendu de 75 ou 100 parties d'eau l'oxyde brun-rouge qu'on obtient par la calcination du protoxyde de cérium. L'acide ainsi étendu laisse, sans le dissoudre, la plus grande partie de l'oxyde brun-rouge; c'est de la dissolution ainsi obtenue, que provenait l'oxyde de

lanthane que j'employai dans les expériences faites au commencement de 1839.

Quelques-uns des résultats que j'obtins furent malheureusement connus du public. Lorsqu'on trouve l'oxyde d'un corps jusque-là inconnu, rien, habituellement, n'est plus aisé que de déterminer les propriétés du corps, et je pensais par conséquent pouvoir publier, au bout de peu de temps, les résultats complets de mes expériences; mais je m'étais trompé. Ce qui donne surtout quelque valeur aux recherches chimiques, c'est la certitude que la substance qu'on examine est pure, c'est-à-dire libre de toute substance étrangère; or je ne tardai pas à m'apercevoir que ce que j'avais d'abord considéré comme de l'oxyde de lanthane pur était, en réalité, un mélange de ce nouvel oxyde avec beaucoup d'autres substances, et je réussis à en séparer l'un après l'autre sept produits différents. Le premier, à ma grande surprise, fut de la chaux, en petite quantité, et je reconnus que le sulfate de chaux et le sulfate de potasse formaient un sel double soluble. Je séparai ensuite successivement, et par divers moyens, les oxydes de fer, de cuivre, d'étain, de nickel, de cérium, et un produit ressemblant à de l'oxyde d'urane; mais l'oxyde qui resta après la séparation de toutes ces substances me laissa dans une position à peu près semblable à celle où je me trouvais au commencement de ces recherches; de sorte que bien qu'à la fin de 1839, j'eusse enfin obtenu de l'oxyde de lanthane assez pur, ce ne fut qu'au commencement de l'année suivante que je pus en obtenir avec quelque facilité une plus grande quantité. Malgré tous mes efforts, je n'ai pas encore réussi à découvrir une méthode pour séparer avec quelque exactitude analytique le lanthane du cérium, etc.

L'oxyde de lanthane, aussi pur que j'ai pu l'obtenir jusqu'à présent, possède les propriétés suivantes : il est d'une couleur saumon clair, ou presque blanc, mais jamais rougeâtre ni brun, et il reste le même, soit qu'on le chauffe au rouge ou au blanc, dans des vases ouverts ou fermés. Cette légère coloration semble provenir d'un mélange en faible proportion de quelque substance étrangère. L'oxyde, quoique chauffé auparavant jusqu'au blanc, change promptement dans l'eau; il devient d'un blanc de neige et plus volumineux, et au bout de vingt-quatre heures passées à la température ordinaire de l'air, il se change en un hydrate qui entre facilement en suspension dans l'eau. Avec de l'eau bouillante, ce changement a lieu très-promptement; l'oxyde récemment chauffé, ainsi que l'hydrate, restitue immédiatement la couleur bleue au papier de tournesol rougi et humide. L'oxyde de lanthane est aisément dissous par les acides, même très-étendus. Les sels, formés par la combinaison de l'oxyde de lanthane avec les acides qui ne sont pas colorés, sont complétement incolores. Les sels

de lanthane ont un goût sucré et légèrement astringent, et leur dissolution peut être séparée complétement de l'oxyde de lanthane, en ajoutant du sulfate de potasse en quantité suffisante; car le sel double formé par le sulfate d'oxyde de lanthane et le sulfate de potasse est tout à fait insoluble dans une dissolution saturée de sulfate de potasse. Le poids atomique de l'oxyde de lanthane se rapproche de 680, nombre qui n'offre aucune valeur scientifique, puisque, comme je l'ai déjà dit, on n'a pu encore obtenir l'oxyde complétement pur.

Je ne décrirai, parmi les sels obtenus, que quelques-uns des plus caractéristiques. Le sulfate d'oxyde de lanthane cristallise en petits prismes à six faces, terminés par des pyramides à six faces; il contient 3 atomes d'eau de cristallisation. Ce sel a la même propriété que les sulfates d'yttria, de thorine, et d'autres oxydes de la même classe, c'est-à-dire qu'il est beaucoup moins soluble dans l'eau chaude que dans l'eau froide. A 23 degrés centigrades, 1 partie de sulfate d'oxyde de lanthane anhydre exige 42 $\frac{1}{2}$ parties d'eau pour se dissoudre, et 1 partie du même sel exige environ 115 parties d'eau bouillante pour entrer en dissolution.

Les cristaux se dissolvent très-lentement, mais le sel anhydre est immédiatement dissous. Celui-ci développe beaucoup de chaleur lorsqu'il est mêlé avec un peu d'eau froide, et forme alors une croûte cristalline, qui se dissout ensuite très-lentement. Lorsqu'on jette du sulfate d'oxyde de lanthane en poudre dans de l'eau à la température de 3 degrés centigrades environ, et qu'on agite en ayant soin que le liquide n'atteigne jamais une température supérieure à 13 degrés centigrades, 1 partie de sulfate d'oxyde de lanthane se dissout dans moins de 6 parties d'eau, et l'on peut conserver la dissolution pendant plusieurs semaines dans des vases fermés, et à la température ordinaire, sans qu'elle se trouble; mais si l'on échauffe graduellement le liquide, on voit se déposer, avant que la température ait atteint 30 degrés centigrades, un grand nombre de groupes cristallins, composés de petites aiguilles rayonnant d'un centre commun, et quand une fois cette cristallisation a commencé, rien ne peut l'arrêter, quelle que soit la rapidité avec laquelle on refroidit le liquide. Ce liquide, d'abord limpide, est changé en quelques minutes en une bouillie claire. Si durant la dissolution du sel, telle que je viens de la rapporter, une partie du liquide acquiert une température plus élevée, à raison de la chaleur développée par l'union du sel avec l'eau, alors la cristallisation d'une partie du sel commence immédiatement, et quand elle a une fois commencé, le phénomène continue, même à une température de 13 degrés centigrades, jusqu'à ce que la dissolution ne contienne plus que les $\frac{2}{47}$ de son poids de sel anhydre. Le sel qui s'est ainsi déposé,

contient la même quantité d'eau que celui qui s'est formé durant l'évaporation, aussi bien au-dessous de 13 degrés qu'à 100 degrés centigrades. Si l'on maintient le sulfate d'oxyde de lanthane à une chaleur rouge pendant une heure, il perd la moitié de son acide sulfurique; le sel basique qui se produit est insoluble dans l'eau.

Le nitrate d'oxyde de lanthane est un sel assez soluble dans l'eau ou dans l'alcool, et en faisant évaporer la dissolution jusqu'à consistance sirupeuse, elle laisse déposer de grands cristaux prismatiques qui se dissolvent rapidement à l'air humide. Si l'on évapore la dissolution à une température de 30 degrés centigrades et au-dessus, on obtient une masse d'un blanc de lait opaque.

Lorsqu'on fait chauffer le sel avec précaution, de manière à en expulser toute l'eau et qu'on élève encore la température au delà de ce terme, le sel anhydre peut fondre sans décomposition, et lorsqu'il est refroidi, il fournit un verre incolore; mais lorsqu'on chauffe sans précautions, une partie de l'acide nitrique se trouve expulsée, et la masse fondue est un mélange de sel neutre et de sel basique qui, en se durcissant, forme une masse opaque d'un blanc de neige; celle-ci, un instant après sa solidification, a la propriété remarquable de se transformer en une poudre blanche et volumineuse. Cette décomposition est accompagnée d'une légère détonation, et quelques parties de la matière sont lancées à plusieurs centimètres de distance.

L'oxyde de lanthane a une tendance particulière à former des sels basiques, et ceux qui sont précipités par l'ammoniaque caustique en excès sont dans ce cas. Lorsque le sel contient un acide organique, le précipité se redissout dans l'ammoniaque en excès. Plusieurs des sels basiques, tels que le nitrate basique d'oxyde de lanthane et le chloride basique de lanthane, par exemple, ont cela de remarquable, qu'on ne peut les laver sur un filtre avec de l'eau; le liquide passe avec une couleur laiteuse; le précipité finit par être entraîné tout entier. Lorsqu'on fait bouillir le liquide avec le précipité alors obtenu, le tout traverse immédiatement le filtre; si on laisse quelques jours le précipité humide sur le filtre, il se change alors en un sel neutre qui se dissout dans l'eau, et en carbonate d'oxyde de lanthane qui reste sur le filtre.

Quant au cérium, mes recherches ont été aussi imparfaites dans leurs résultats que celles qui ont porté sur le lanthane; je mentionnerai pourtant quelques faits qui peuvent avoir de l'intérêt.

La poudre d'un brun rougeâtre qui reste après la séparation de l'oxyde de lanthane par l'acide nitrique étendu, est un mélange d'oxyde de cérium et d'oxyde de lanthane accompagné de toutes les substances que j'ai nommées précédemment. Je n'ai pu réussir par aucune méthode à me procurer de l'oxyde de cérium pur.

Les sels de protoxyde de cérium sont, comme ceux de lanthane, parfaitement incolores; le protoxyde de cérium est complétement précipité de la dissolution par le sulfate de potasse. Si l'on réunit sur un filtre l'hydrate de protoxyde de cérium précipité par la potasse caustique, il commence aussitôt à devenir jaune, et lorsque l'oxydation a continué ainsi à l'air autant que possible, il reste par la dessiccation des masses opaques d'un jauue pâle qui contiennent de l'eau. La dessiccation opérée à chaud fournit ce qu'on appelle l'oxyde de cérium, qui ne conserve pas la moindre trace de couleur brune, mais qui, après avoir été chauffé pendant quatre heures à la chaleur blanche, prend une légère teinte rouge. Si l'oxyde de cérium, préparé comme je viens de le dire, a la moindre teinte brune ou devient foncé par la chaleur, cette apparence provient de quelque substance étrangère.

Cet oxyde jaune contient cependant toujours du protoxyde de cérium, et je n'ai pas réussi à obtenir le deutoxyde de cérium exempt de tout protoxyde. L'oxyde d'un jaune brillant qui se forme lorsque l'hydrate de protoxyde de cérium, seul ou mélangé avec l'hydrate de lanthane, est exposé à l'action du chlore, contient non-seulement du chlore, mais encore du protoxyde de cérium. Lorsqu'on fait chauffer le nitrate de protoxyde de cérium, on obtient une poudre d'un jaune clair de laquelle on peut extraire beaucoup de sel de protoxyde de cérium au moyen de l'acide nitrique; si l'on fait évaporer de nouveau cette solution et qu'on chauffe la masse sèche, on obtient de nouveau du sel de protoxyde de cérium; cette opération, renouvelée jusqu'à cinq fois, amène toujours les mêmes changements. Ce que j'appelle l'oxyde de cérium est, par conséquent, réellement une combinaison de deutoxyde et de protoxyde de cérium. L'oxyde de cérium calciné est à peine attaqué par l'acide chlorhydrique concentré et bouillant, et encore moins par d'autres acides plus faibles; l'hydrate, au contraire, se dissout aisément dans l'acide chlorhydrique avec dégagement de chlore; mais même après une longue ébullition, la dissolution conserve une couleur jaune. Les acides plus faibles, étendus, dissolvent à peine l'hydrate d'oxyde de cérium, mais il prend une couleur d'un jaune plus foncé et se combine avec une portion de l'acide employé. L'hydrate d'oxyde de cérium se dissout en grandes quantités dans les dissolutions des alcalis carbonatés, particulièrement de carbonate d'ammoniaque, et la dissolution prend une couleur d'un jaune brillant. Le peroxyde de cérium en dissolution, chauffé à l'ébullition, est immédiatement réduit par l'acide oxalique en protoxyde de cérium; il se dégage de l'acide carbonique. L'oxyde de cérium calciné devient immédiatement soluble au contact de l'acide sulfurique concentré et chaud, avec lequel il se combine. Le sulfate d'oxyde de cérium neutre, lorsqu'il est sec, est d'un beau jaune; il devient, par

la chaleur, d'un jaune orangé; si l'on chauffe très-fortement, il passe au rouge cinabre; mais en se refroidissant, la couleur jaune reparaît. Le sel est soluble dans une petite quantité d'eau; mais si on fait bouillir la dissolution, la plus grande partie du sel se dépose sous la forme d'une masse demi-transparente et très-visqueuse. Si on étend la dissolution concentrée, qui est d'un jaune rougeâtre, elle devient d'un jaune plus clair, mais elle se trouble immédiatement et dépose une poudre d'un jaune de soufre qui est un sel basique lequel exige 2500 parties d'eau pour se dissoudre. Le sulfate d'oxyde de cérium donne, avec le sulfate de potasse, un sel d'un beau jaune lequel est complétement insoluble dans une dissolution saturée de sulfate de potasse; mais le sel double ne peut pas être traité par l'eau sans être décomposé et sans précipiter un sel basique. Quoique l'oxyde de cérium soit à peu près insoluble dans les acides étendus, on doit se rappeler qu'étant intimement uni à d'autres oxydes solubles, il entre facilement en dissolution. Le sulfure de cérium est d'un brun rouge foncé.

L'oxyde de lanthane que j'obtins d'abord était d'une couleur brune; mais après avoir été chauffé au blanc, il devint d'un blanc sale; en le faisant chauffer dans l'hydrogène, il perdit aussi sa couleur brune, sans éprouver de perte de poids; en le faisant chauffer à l'air, il redevint brun.

Cette circonstance, ainsi que plusieurs autres phénomènes qui se représentèrent durant l'examen des propriétés de l'oxyde de lanthane, me firent supposer que l'oxyde que j'avais obtenu, était encore accompagné de quelque oxyde inconnu, et au commencement de 1840, je réussis à débarrasser le lanthane de la substance qui lui communiquait la couleur brune. Je donnai au radical de ce nouvel oxyde le nom de *didyme* (d'un mot grec qui signifie *jumeaux*), parce qu'il fut découvert en mélange avec l'oxyde de lanthane. C'est l'oxyde de didyme qui donne aux sels de lanthane et de cérium la couleur améthyste qu'on attribue à ces sels, ainsi que la couleur brune que prennent les oxydes des mêmes métaux lorsqu'ils sont chauffés au rouge au contact de l'air.

Malgré tous mes efforts, je n'ai pu réussir encore à obtenir l'oxyde de didyme à l'état de pureté, et j'en suis seulement arrivé à m'assurer qu'on peut produire par différents moyens un composé constant avec l'acide sulfurique. On peut conclure d'après la quantité d'eau de cristallisation, et d'après d'autres circonstances, que le sel en question est réellement un sel double; mais, pour le moment, je ne puis encore dire si le second oxyde est l'oxyde de lanthane ou quelque autre. La substance que je viens de décrire brièvement comme étant l'oxyde de didyme, est la base combinée avec l'acide sulfurique dans le sel dont

je décrirai actuellement les propriétés. Le sulfate d'oxyde de didyme, préparé de diverses manières, est beaucoup plus soluble dans l'eau que le sulfate d'oxyde de lanthane. Cette particularité m'a conduit à rechercher si, en traitant le mélange des sels anhydres par l'eau en faible proportion, on ne pourrait pas obtenir des dissolutions qui, d'après l'ordre des traitements, seraient plus riches en sels et particulièrement en sulfate d'oxyde de didymium, tandis que le résidu non dissous consisterait en oxyde de lanthane à peu près pur. Après avoir examiné successivement cinq dissolutions saturées obtenues par le traitement des sels anhydres, je trouvai que le sel anhydre avait été dissous dans la première expérience, dans 7,64 parties d'eau; dans la deuxième, dans 8,84 parties; dans la troisième, dans 7,8 parties; dans la quatrième, dans 5 parties; et dans la cinquième, dans 7,44 parties d'eau. J'ai pensé qu'à raison de l'élévation variable de température qui se produit au contact de l'eau avec le sel anhydre, il pouvait se former des sels contenant des quantités variables d'eau de cristallisation et possédant des solubilités inégales. Pour m'assurer de l'exactitude de cette supposition, j'ai préparé ensuite les dissolutions des sels par le procédé déjà décrit en parlant du sulfate d'oxyde de lanthane, dont la solubilité est si variable avec la température. Si l'on fait dissoudre les sels dans 6 parties d'eau à une température qui ne dépasse pas 9 degrés centigrades, et qu'on porte ensuite la dissolution à 40 degrés centigrades, il se dépose une certaine quantité de sel de lanthane d'une couleur améthyste claire. Ce sel, traité de la même manière dix à quinze fois, devient enfin incolore et à peu près pur. La dissolution violette étant séparée du sel de lanthane, on la fait évaporer à sec, le résidu est de nouveau dissous dans l'eau comme précédemment, mais on chauffe cette fois la dissolution à 50 degrés centigrades, et lorsqu'on la filtre ensuite, elle ne dépose plus de sel. On étend alors la dissolution avec un poids égal d'eau, acidulée avec une partie d'acide sulfurique, et on la fait évaporer dans un endroit chaud. Il se forme alors diverses sortes de cristaux dont plusieurs sont volumineux et tombent au fond. Lorsqu'il ne reste plus qu'un sixième du liquide, qui en général est jaune, on le transvase; on sépare la croûte de sel qui est au fond, et l'on secoue tous les cristaux dans de l'eau bouillante qu'on décante immédiatement lorsqu'il se forme de plus petits cristaux prismatiques. On dissout dans l'eau les gros cristaux rouges qui restent; la dissolution est acidulée avec de l'acide sulfurique, évaporée de la même manière que précédemment, et les gros cristaux rouges sont séparés lorsqu'ils forment un mélange de deux espèces; ceux qui ont la forme de longs prismes étroits et rhomboïdaux sont enlevés, et les gros cristaux rouges à

plusieurs facettes, qui paraissent appartenir au système triklinométrique de Wallmark, forment le sel que j'appelle *sulfate d'oxyde de didyme*.

On précipite l'hydrate d'oxyde de didyme par la potasse en excès; on le réunit sur un filtre; il est d'un violet bleuâtre; et absorbe, durant le lavage, l'acide carbonique de l'air. Le résidu, formé en grande partie de carbonate d'oxyde de didymium, devient, lorsqu'il est séché, d'un violet légèrement rougeâtre. Chauffé au rouge, il perd son eau et son acide carbonique. L'oxyde qu'on obtient de cette manière forme de petites masses d'un brun foncé à la surface, d'un brun un peu plus clair dans les fractures, ayant un lustre résineux, quelquefois à peu près noir, et semblable à de l'orthite foncée. On obtient, en même temps, des particules des couleurs les plus mélangées, et qui rappellent les aspects de colorations diverses de l'orthite, depuis le brun-rouge clair jusqu'au brun presque noir. Leur poussière est d'un brun clair. Chauffé jusqu'au blanc, cet oxyde devient d'un blanc sale, tournant au gris-verdâtre. L'oxyde de didyme est une base plus faible que l'oxyde de lanthane; il n'a pas de réaction alcaline et ne paraît pas absorber l'eau après avoir été chauffé. Il se dissout pourtant assez facilement, même dans les acides étendus; l'oxyde brun se dissout avec un dégagement de gaz. Il est insoluble dans le carbonate d'ammoniaque; les sels solides ou dissous sont d'un rouge améthyste, les dissolutions des sels ne sont pas précipitées par l'hydrosulfate d'ammoniaque, à moins qu'on n'en ajoute une grande quantité ou que le liquide ne soit chauffé. L'hydrogène sulfuré qui se produit, précipite alors un sel basique ayant une légère teinte rouge. Lorsqu'on fait dissoudre l'oxyde dans le sel de phosphore, au chalumeau, le verre devient, après la réduction, d'une améthyste presque violette, comme s'il contenait une trace d'acide titanique.

L'oxyde de didyme, chauffé sur une lame de platine avec du carbonate de soude, forme, en fondant, une masse d'un blanc gris. Quant aux sels de didyme, je décrirai brièvement ceux qui sont analogues aux sels de lanthane et de cérium dont j'ai précédemment parlé. Je ferai remarquer, en même temps, que le sel basique de didyme, qui est précipité par l'ammoniaque caustique, peut être lavé sans passer à travers le filtre.

Nous avons déjà décrit la préparation du sulfate d'oxyde de didyme, ainsi que ses caractères. Ce sel est assez soluble dans l'eau à la température ordinaire, quoique ses cristaux ne se dissolvent que très-lentement. Le sel anhydre se dissout tout de suite, lorsqu'on lui fournit du premier coup assez d'eau pour empêcher la formation de l'hydrate. Le sel anhydre est seulement arrosé d'eau, la masse s'échauffe, et il se forme une croûte qui doit être réduite en poudre pour se dissoudre promptement. A la température ordi-

naire de l'air, 1 partie de sulfate d'oxyde de didyme anhydre exige 5 parties d'eau pour se dissoudre. Cette dissolution portée à la température de 53 degrés centigrades dépose des cristaux dont le nombre s'accroît à mesure que la chaleur augmente, de sorte que la dissolution bouillante ne contient que 1 partie de sel anhydre pour 50,5 parties d'eau. Au rouge naissant, il ne se dégage qu'une quantité peu considérable d'acide sulfurique; mais au bout d'une heure de chaleur blanche, le sel perd les deux tiers de son acide. Avec le sulfate de potasse, le sulfate d'oxyde de didyme donne un sel double de couleur améthyste, qui est complétement insoluble dans une dissolution saturée de sulfate de potasse.

Le nitrate d'oxyde de didyme est très-soluble dans l'eau et cristallise avec difficulté; la dissolution réduite en sirop clair est d'une belle couleur rouge, qui tire quelquefois vers le bleu. Lorsqu'on évapore à sec dans un endroit chaud, et qu'on chauffe le sel jusqu'à fusion, ce qui ne peut pas arriver sans qu'une grande partie de l'acide nitrique ne soit décomposée, on obtient alors un liquide rouge, qui, refroidi et solidifié, ne tombe pas en poudre avec violence comme le sel correspondant de lanthane; il conserve sa forme.

Je dois faire observer aussi que, parmi les corps que j'ai été obligé d'examiner durant le cours de ces recherches, il s'est trouvé de l'yttria, j'ai reconnu que cette terre, libre de tout corps étranger, est parfaitement incolore et donne des sels également incolores. Quant à décider si la couleur améthyste que les sels présentent généralement vient du didyme, c'est ce que je ne saurais affirmer.

SUR L'YTTRIA, LE TERBIUM ET L'ERBIUM;

Note additionnelle (Juin 1843).

J'ai publié l'été dernier une courte Note sur l'yttria; les faits suivants, découverts depuis et qui s'y rapportent, méritent de fixer l'attention. Lorsque j'établis anciennement que l'yttria pure ou les sels de cette base, mêlés avec un acide incolore, sont incolores, mes expériences avaient eu seulement pour but de montrer que toute l'yttria que j'avais pu me procurer avait pu aisément se séparer en deux portions: l'une, qui était une base forte et incolore; l'autre, plus faible, et qui, à mesure qu'elle était plus dépouillée d'yttria, acquérait une couleur jaune plus intense par l'action de la chaleur; cette dernière donnait avec les acides des sels d'une couleur rou-

geâtre. J'ai continué mes recherches pendant l'automne et l'hiver suivants, et j'ai pu non-seulement confirmer l'exactitude de mes premières observations, mais encore faire une découverte inattendue. En effet, la substance que les chimistes ont considérée comme de l'yttria n'est pas un oxyde unique, mais bien un mélange de trois oxydes au moins, dont deux paraissent être nouveaux. Ces oxydes ont beaucoup de caractères chimiques communs, ce qui fait que les chimistes ont négligé d'observer leurs différences réelles.

Les caractères qui sont particuliers à ces oxydes et qui les distinguent de tous les autres, sont : 1° quoique formant des bases salifiables plus puissantes que la glucine, ils sont insolubles dans l'eau et dans les alcalis caustiques; néanmoins ils se dissolvent dans une dissolution bouillante de carbonate de soude, même après avoir été calcinés; au bout de quelques jours la plus grande partie se sépare de la dissolution sous la forme d'un sel double; 2° combinés avec l'acide carbonique, ils sont très-solubles dans une dissolution froide de carbonate d'ammoniaque; lorsque cette dissolution est saturée, il se sépare bientôt un carbonate double ammoniacal, et cela en si grande abondance, qu'au bout de quelques heures il reste très-peu d'oxyde dans la dissolution. Ceci explique les observations de plusieurs chimistes qui disent que l'yttria se dissout quelquefois facilement et quelquefois à peine dans le carbonate d'ammoniaque; en outre, les sels de ces oxydes ont un goût sucré. Les sulfates se dissolvent avec plus de difficulté dans l'eau chaude que dans l'eau froide, et en outre ils forment des sels doubles avec le sulfate de potasse, qui sont insolubles dans une dissolution saturée de ce dernier.

Nous conserverons le nom d'yttria pour désigner la base la plus forte; et nous désignerons par *oxyde de terbium* et *oxyde d'erbium* les deux autres bases dont la dernière est la plus faible de toutes. Voici les caractères différentiels de ces trois bases.

Le nitrate d'yttria est extrêmement déliquescent, à tel point que si on laisse un peu de la dissolution de ce sel pendant trois semaines dans un lieu chaud, on n'arrive pas à obtenir un produit exempt d'humidité. La dissolution de nitrate d'oxyde de terbium, qui est d'un rouge pâle, s'évapore promptement en laissant une masse radiée cristalline qui ne change pas à l'air à moins qu'il ne soit très-humide. Les cristaux de sulfate d'yttria sont incolores et restent transparents pendant plusieurs semaines, étant exposés à l'air à une température qui varie de 30 à 70 degrés centigrades, tandis qu'une dissolution de sulfate d'oxyde de terbium abandonne, par l'évaporation à une basse température, un sel qui s'effleurit et se transforme en une poudre blanche. L'oxyde de terbium, dont les sels possèdent une couleur rougeâtre, paraît incolore comme

l'yttria lorsqu'il est pur. L'oxyde d'erbium diffère des deux premiers par la propriété qu'il a de devenir d'une couleur orange foncée lorsqu'on le fait chauffer au contact de l'air ; il perd de nouveau cette couleur avec une légère perte de poids, lorsqu'on le fait chauffer dans le gaz hydrogène.

C'est à la présence de l'oxyde d'erbium que l'yttria doit sa couleur jaune lorsqu'elle est préparée comme on l'a fait jusqu'à présent; il est, en outre, probable que dans tous les cas où l'on a obtenu l'yttria incolore, le produit consistait principalement en glucine, surtout alors que l'on ignorait le moyen de séparer complétement ces deux terres l'une de l'autre.

Le sulfate et le nitrate d'oxyde d'erbium sont incolores, quoique la dissolution de l'oxyde dans les acides soit quelquefois jaune; le sulfate ne s'effleurit pas.

Ces différences et un grand nombre d'autres moins remarquables entre ces trois oxydes me paraissent prouver positivement que le produit obtenu et décrit jusqu'à présent comme étant de l'yttria n'est qu'un mélange de ces trois bases ; c'est au moins le cas pour l'yttria extraite de la gadolinite, de la cérine, de la cérite et de l'orthite ; mais, comme je n'ai pas encore été assez heureux pour découvrir un moyen aisé ou certain d'obtenir l'un ou l'autre de ces oxydes chimiquement pur, je me bornerai, quant à présent, à ce simple exposé des faits.

Je ferai connaître actuellement deux méthodes faciles par lesquelles les chimistes pourront reconnaître l'exactitude des faits précédents. Si on ajoute de l'ammoniaque caustique en petite quantité à une dissolution d'yttria ordinaire dans de l'acide muriatique, qu'on lave et qu'on fasse sécher à part le précipité qui se forme à chaque addition, on obtient des sels basiques dont les derniers précipités sont incolores et contiennent seulement de l'yttria. Les premiers précipités, qui sont les plus rougeâtres, sont ceux qui contiennent le plus d'oxyde d'erbium, mais celui-ci est toujours mêlé d'yttria et d'oxyde de terbium. Si l'on traite de la même manière une dissolution d'yttria ordinaire dans de l'acide nitrique, et qu'on fasse chauffer séparément les divers précipités, le premier donnera un oxyde d'un jaune foncé, et la couleur de ceux qu'on obtiendra après sera toujours de plus en plus pâle, jusqu'à ce qu'enfin on obtienne un oxyde blanc, consistant principalement en yttria, avec une petite quantité d'oxyde de terbium. En faisant ces expériences, il est important que l'yttria soit exempte de fer et d'urane, ce qui est très-difficile. Il vaut mieux, par conséquent, commencer les précipités avec une faible dissolution d'hydrosulfate d'ammoniaque, et lorsque le précipité n'a plus la moindre nuance de vert bleuâtre, traiter alors par la potasse caustique comme nous l'avons dit.

La meilleure méthode, en général, est d'ajouter un peu d'acide libre à une solution d'yttria, et de verser la liqueur goutte à goutte dans une dissolution de bioxalate de potasse, en l'agitant continuellement jusqu'à ce que le précipité ne se dissolve plus. Au bout d'une couple d'heures, il se forme un précipité qu'il faut séparer, puis on traite la solution qui reste, comme nous l'avons déjà dit précédemment, et cela tant qu'il se forme un précipité. Si on neutralise alors la liqueur qui reste par un alcali, on obtient une petite quantité d'oxalate d'yttria presque pur. Parmi ces précipités, les premiers qu'on obtient sont plus cristallins et se réunissent rapidement, les derniers sont plus pulvérulents et tombent lentement. Les premiers contiennent plus d'oxyde d'erbium, mêlé avec de l'oxyde de terbium et d'yttria; les suivants contiennent moins d'oxyde d'erbium, plus de terbium et d'yttria; enfin les derniers contiennent de plus en plus d'yttria, mêlée avec de l'oxyde de terbium. Les premiers précipités sont rougeâtres, et les derniers incolores. Si on traite un mélange des oxalates de ces bases par un acide très-étendu, on obtient d'abord un sel contenant principalement de l'yttria, ensuite un sel plus riche en oxyde de terbium, et le reste contient principalement de l'oxyde d'erbium. J'ai même réussi une fois à obtenir un sel double de sulfate de potasse et de sulfate d'oxyde d'erbium (qui se dissout avec difficulté dans une dissolution de sulfate de potasse), en traitant une dissolution assez concentrée de nitrate d'oxyde de terbium et de nitrate d'erbium par un excès de sulfate de potasse.

On comprendra aisément, d'après tout ce que je viens de dire, que pour arriver seulement aux résultats que j'ai déjà obtenus, il a fallu beaucoup de temps et de travail, surtout si l'on considère qu'un ou deux grains d'yttria ont été souvent divisés en près de cent précipités, lesquels ont dû être ensuite examinés séparément. J'espère que les connaissances que j'ai acquises actuellement me permettront bientôt de publier une analyse plus complète de mes recherches.

MÉMOIRE SUR LA VÉGÉTATION CONSIDÉRÉE SOUS LE POINT DE VUE CHIMIQUE;

PAR MM. F.-C. CALVERT ET E. FERRAND.

CHAPITRE Ier.

De l'air confiné dans les plantes selon les organes et les différentes heures du jour. — Observations générales.

Guidés par les savants travaux qui, dans ces derniers temps, ont jeté de si vives lumières sur l'importante question qui nous occupe, nous nous sommes proposé de rechercher, par l'analyse chimique, les changements qu'éprouve, dans les végétaux même, la composition de l'air naturellement renfermé dans la plante, selon les organes où se passent les phénomènes, et selon les circonstances qui président à la modification des phénomènes.

Nous apprécierons d'abord d'une manière générale les conditions douteuses dans lesquelles se sont placés la plupart des savants qui ont écrit sur cette matière. Les personnes qui ont lu leurs expériences et médité leurs ouvrages, pourront remarquer avec nous ces deux faits capitaux, savoir :

1°. Que si l'absorption subite et complète de l'acide carbonique par les feuilles a été parfaitement prouvée par l'expérience de M. Boussingault sur des feuilles de vignes, la décomposition totale de cet acide n'a été démontrée par aucune expérience irrécusable;

2°. Que depuis Scheele et Priestley jusqu'à nos jours, on n'a enregistré aucune série de faits apportant avec eux la preuve d'une décomposition toujours proportionnelle à l'intensité de la lumière.

En effet, si nous prenons pour exemple les expériences de M. Th. de Saussure, dont nous reconnaissons toute l'habileté, nous espérons justifier les paroles que nous venons d'avancer, et la marche différente que nous avons suivie. Aussi pensons-nous établir d'abord qu'un végétal fermé sous des cloches, comme cela a été pratiqué, se trouve dans des circonstances essentiellement funestes à l'appréciation des phénomènes naturels.

L'auteur, en effet, a expérimenté sur des plantes entières, puis sur des feuilles détachées des arbres, et l'on peut, à ces deux ordres de recherches, adresser les objections suivantes :

1°. Dans le premier cas, sous une cloche disposée sur le mercure, la plante entière d'abord, et à plus forte raison la couche d'eau qui par précaution recouvre le bain métallique, sature bientôt d'humidité l'atmosphère limitée qu'on lui a faite, et la transpiration devenue impossible n'empêche pas sans inconvénient une fonction de l'organisme des plantes.

2°. L'acide carbonique étant un aliment indispensable aux végétaux, comment concevoir qu'ils s'en nourrissent quelque temps dans un milieu où, en quantité très-faible et nullement remplacée, cet acide est sur-le-champ absorbé et décomposé par eux au soleil.

3°. Dans un air expiré, si l'élément nutritif manque d'une part, et que, de l'autre, un principe désorganisateur, l'oxygène, y augmente, on prévoit facilement l'état maladif des êtres qui le respirent.

4°. De cet état de maladie, de souffrance, souvent accusé par la décoloration, la chute des feuilles et la non-maturité des fruits, comment apprécier nettement les conditions de vie et de santé.

5°. Dans toutes les expériences faites ainsi sous les cloches, on n'a jamais tenu compte de l'absence du sol, et pourtant la présence de certains sels est une chose nécessaire, un besoin impérieux, comme on le voit chaque jour en agriculture, par les prédilections de la plupart des récoltes pour telle ou telle substance minérale. Sans doute, dans les circonstances dont nous venons de peser la valeur, les plantes privées de toute espèce de terre autour de leurs racines ont peu souffert; mais ce passage brusque à cet état anormal ne pouvait que rompre l'équilibre des fonctions vitales, l'harmonie des phénomènes naturels, et fournir des causes d'erreur.

En 1837, M. Chevreul, dans des considérations générales relatives à l'assimilation de la matière par les êtres organisés vivants, apprécia les rapports intimes qui existent entre la composition chimique des aliments et celle de l'être qui s'en nourrit, selon que cet être trouve, à l'aide de l'atmosphère, sa nourriture dans la graine qui lui donne naissance, ou dans l'œuf qui le renferme, et selon que le végétal ou l'animal développé emprunte ses aliments au monde extérieur. Mais n'ayant abordé ces hautes considérations que pour y puiser des arguments à l'appui de ce que nous venons d'avancer dans notre cinquième objection, nous nous contenterons de dire que M. Chevreul regarde non-seulement le gaz atmosphérique et l'eau, mais encore les sels, comme choses essentielles à la végétation ; de même que les chlorures alcalins et les phosphates terreux, mêlés aux matières assimilables, sont essentiels à la vie des animaux. Et comme dernier raisonnement devant donner plus de force à notre opinion sur les circonstances peu favorables dans lesquelles on a étudié les plantes vivantes, nous emprunterons [page 674] (1) cette profonde pensée : « L'être » vivant ne peut se développer avec la constance que nous ob-

(1) *Journal des Savants,* novembre 1837. *Quelques considérations et inductions relatives à la matière des êtres vivants,* par M. E. Chevreul.

» servons dans ses formes et les fonctions de ses organes, sans » qu'il y ait une harmonie préétablie entre toutes les parties et » les conditions extérieures où son existence est possible; par » conséquent, sans que toutes les forces auxquelles nous rappor- » tons les phénomènes de la vie soient balancées dans leur op- » position, coordonnées dans leurs actes successifs à concourir » dans un but unique. »

L'expérience si connue de M. de Saussure sur la pervenche prouve bien l'absorption complète de l'acide carbonique; mais les résultats de cette opération, en établissant qu'une partie de l'oxygène a été retenue, tandis qu'une égale quantité d'azote a été produite par la plante, ne démontre pas, selon nous, que tout l'acide carbonique ait été décomposé en carbone d'une part, et en oxygène de l'autre.

Aux expériences faites sur des rameaux coupés, sur des feuilles, etc., nous pouvons appliquer non-seulement les objections précédentes, mais en ajouter une autre bien plus grave, selon nous : c'est que les causes d'altération profonde doivent agir si librement dans le cas dont nous parlons, que nous sommes portés à croire que l'on a été conduit à prendre pour une action vitale une véritable décomposition chimique des sucs ou des tissus de la plante.

M. de Saussure a résumé ainsi ses expériences sur les feuilles ou parties vertes des plantes (1) :

« Les plantes vertes exposées dans l'air atmosphérique à l'ac- » tion successive du jour et de la nuit, y font des inspirations et » des expirations alternatives de gaz oxygène mêlé de gaz acide » carbonique. Le gaz oxygène que les plantes vertes inspirent ne » s'assimile point immédiatement à elles; il se métamorphose, dans » l'inspiration, en acide carbonique; elles décomposent celui-ci » dans l'acte de l'expiration, et ce n'est que par cette décompo- » sition, qui n'est que partielle, qu'elles peuvent s'assimiler le gaz » oxygène qui leur sert d'atmosphère. »

Les expériences dont on vient de lire les résultats ont été faites sur le *Cactus opuntia,* placé sous des cloches fermées par le mercure, et l'auteur a conclu de ces observations, qu'il y avait inspiration d'oxygène la nuit, et expiration du même gaz le jour (2).

Nous concevons difficilement comment l'auteur a pu déduire de ces résultats la formation d'un acide carbonique aux dépens d'une feuille dite *dans toute sa vigueur,* et nous nous expliquons encore moins comment cet acide produit est retenu à l'état de gaz

(1) *Recherches chimiques sur la végétation,* page 133.

(2) Voir pour plus de détails, *Recherches chimiques sur la végétation,* par M. Th. de Saussure; expériences de nuit, page 66, et celles de jour, page 82.

dans le tissu même du végétal (opinion que ce chimiste avoue, page 76 du même ouvrage, n'avoir point été démontrée par des expériences directes), et attende ainsi, pour se décomposer, l'influence des rayons solaires.

N'est-il pas, selon nous, plus vraisemblable d'admettre que l'oxygène absorbé par les feuilles ou rameaux dans lesquels il est appelé par sa propriété comburante, ne brûle point de carbone, parce que ce carbone s'y trouve combiné, et ne présente par conséquent aucune tendance à s'unir de la sorte à l'oxygène; car cette combustion lente, cette destruction, ne pourrait avoir lieu qu'autant que la lumière ne viendrait pas rendre à ces parties des plantes toutes leurs facultés vitales, toute leur force antagoniste de la décomposition, et nous nous permettrons d'appuyer ces réflexions par une expérience du même auteur, faite sur le cactus pilé, en faisant bien remarquer que nous ne pouvons pas regarder les phénomènes qui se passent pendant la vie, comme semblables à ceux qui ont lieu après la mort. En effet, dans l'expérience du cactus désorganisé, le carbone n'est plus retenu en combinaison par une force vitale susceptible de contre-balancer l'action comburante de l'oxygène sur le carbone; aussi l'acide carbonique se dégage-t-il sans interruption (1).

Les expériences sur les fruits ne nous paraissent pas plus favorables que celles des feuilles et des tiges, à l'explication de la manière d'agir des plantes sur l'acide carbonique.

En effet, M. Bérard a cueilli des fruits, les a placés dans des flacons exposés soit au soleil, soit à l'obscurité, et a remarqué dans toutes ses expériences, que l'air était continuellement vicié par la production constante d'acide carbonique, quelles que fussent les circonstances de lumière et l'état de maturité des fruits (2).

Ces résultats fournis à l'auteur, même sous l'influence solaire, ne nous permettent pas de comprendre une augmentation de poids en dépit d'une déperdition permanente de substance, et nous sommes conduits à appliquer à ces travaux les mêmes réflexions que nous ont suggérées les expériences déjà signalées; car l'on conçoit parfaitement que si l'acide carbonique se dégage même au soleil, c'est que dans des organes si faciles à entrer en fermentation après la récolte, la force vitale n'est plus assez persistante pour empêcher l'acidification du carbone.

Le Mémoire de M. Bérard a été réfuté en partie par MM. de Saussure et Couverchell, et comme les réfutations n'ont pas été basées, à notre connaissance du moins, sur des expériences, nous

---

(1) Voir page 219 dans l'ouvrage déjà cité.

(2) Voir Mémoire de M. Bérard sur les fruits. (*Annales de Chimie et de Physique.*)

avons entrepris sur ce sujet un travail qui, nous l'espérons, ne laissera aucun doute sur la décomposition de l'acide carbonique dans les fruits sous l'influence solaire.

Nos premières recherches ont eu pour objet l'examen chimique de l'air confiné dans les gousses du baguenaudier; expériences qui détruisent indubitablement l'opinion émise par M. Bérard, que le péricarpe de ces gousses est perméable en toute limite à l'air extérieur : car, ajoute l'auteur, l'air qu'elles renferment est celui de l'atmosphère. A cette conclusion, nous répondrons que cette perméabilité des gousses à l'air n'a lieu que dans des limites fort restreintes, attendu que le gaz qui enfle ces gousses contient jusqu'à 3 pour 100 d'acide carbonique. On pourrait nous objecter que cette forte proportion de gaz acide est l'effet d'une production par le fruit même.

Mais, à cette observation, nous ferons remarquer que, dans nos analyses, la quantité d'oxygène était constamment en rapport exact et toujours croissant avec la décomposition de l'acide carbonique dans un temps donné et sous une intensité de lumière approximativement appréciée. Nous avons observé, d'autre part, dans le cours de nos opérations, que la plus forte proportion de l'acide carbonique se trouvait dans les fruits de nuit, et que, pour atteindre ce maximum, à partir de 5 heures de l'après-midi jusqu'à 11 heures du soir, l'augmentation était environ de 1 $\frac{1}{2}$ pour 100; augmentation qui nous paraît difficile à expliquer par les théories actuelles. L'une d'elles, en effet, admet que la plante, sous l'influence solaire, absorbe de l'acide carbonique qu'elle décompose sur-le-champ, et qu'à l'obscurité les plantes laissent dégager les faibles quantités qu'elles empruntent au sol par leurs racines.

L'autre théorie admet une absorption constante d'acide carbonique qui, pendant le jour, se concentre dans l'ombre, et pendant la nuit s'accumule dans toutes les parties de la plante; puis, comme dans la théorie précédente, la décomposition ne commence qu'avec les premiers rayons du soleil; enfin, elle ne considère l'expiration nocturne du gaz acide que comme un dégagement très-limité et relatif seulement à la transpiration plus ou moins abondante des végétaux pendant la nuit.

En recevant la première théorie, nous ne pouvons nous rendre compte, d'une manière satisfaisante, comment la somme d'acide carbonique trouvée la nuit dans les gousses étant représentée par 3, perde 1,5 dans la matinée du lendemain, et regagne précisément 1,5 dans la première partie de la nuit suivante, de manière à égaler 3, somme primitive; car, d'après la manière de voir de cette théorie, il faut admettre que le passage de l'acide dans les parties des plantes est continuel, les racines étant toujours dans la même condition d'obscurité, et c'est ce que l'on ne peut ac-

cepter, suivant nous, en présence de nos analyses de jour, d'après lesquelles les proportions d'acide carbonique diminuent en raison de l'intensité de la lumière du soleil, et restent constamment en rapport avec celles trouvées dans nos analyses de nuit.

Si nous nous sommes permis enfin d'avancer ce que nous venons de dire, c'est que nos expériences, répétées un grand nombre de fois et à des époques même très-éloignées, nous ont toujours donné des quantités constantes d'acide carbonique.

La seconde théorie n'attribuant qu'aux rayons directs du soleil la faculté de fixer le carbone en mettant en liberté l'oxygène de l'acide, nous semble ne pas donner mieux que la précédente l'explication des faits que nous avons observés, car elle ne tient pas compte de la décomposition de l'acide carbonique à l'ombre.

Et nous répéterons que les chimistes qui se sont occupés de cette question, ne nous paraissent pas avoir observé la marche que suit la décomposition de l'acide carbonique dans les végétaux, selon l'exposition prolongée de ces derniers, soit à la lumière diffuse, soit au soleil.

Pour nous, nous pensons que les plantes absorbent de l'acide carbonique seulement pendant la nuit, et que cette quantité condensée est plus forte que celle qu'elles sont susceptibles de décomposer le lendemain sous les rayons lumineux. Cette absorption aurait lieu de la manière suivante :

L'air ambiant qui contient, il est vrai, des proportions très-faibles d'acide carbonique (4 à 6 p. 10,000), mais bien suffisantes à la végétation, comme on l'a prouvé par d'intéressants calculs, se renouvelle sans cesse autour des feuilles, des tiges, etc., par le mouvement continuel que lui imprime une foule de causes physiques, et présente par conséquent à la plante, dans un temps très-court, des quantités toujours nouvelles d'acide carbonique. Or les plantes placées ainsi dans un milieu qui leur offre un aliment indispensable, l'acide carbonique, absorbent ce gaz et négligent les autres éléments de l'air, c'est-à-dire, en d'autres termes, qu'elles le condensent sans que l'on remarque une absorption ou une exhalation de ces mêmes éléments.

CHAPITRE II. — *Expériences sur les gousses.*

Lorsqu'il s'est agi pour nous d'analyser l'air confiné dans les gousses, nous nous sommes arrêtés à l'emploi de l'acide sulfurique pour dessécher nos gaz, et à l'eudiomètre à hydrogène pour déterminer l'oxygène : ces moyens essayés nous ont donné des résultats qui ne laisseront, nous aimons à le croire, rien à désirer.

Dans le premier cas, une atmosphère artificielle contenant des quantités connues d'acide carbonique a donné, après l'opération, les mêmes quantités de gaz que celles employées.

Dans le second cas, les essais eudiométriques ont fourni, avec l'air atmosphérique :

1°	Gaz atmosphérique + hydrogène	233	
	Reste, après l'étincelle........	137	
	Disparu......	$\frac{96}{3}$	= 21,053 pour 100.
2°	Gaz atmosphérique + hydrogène	235	
	Reste, après l'étincelle.........	143,13	
	Disparu......	$\frac{91,87}{3}$	= 20,759 pour 100.
3°	Gaz atmosphérique + hydrogène	2,35	
	Reste, après l'étincelle........	1,41	
	Disparu......	$\frac{94}{3}$	= 20,887 pour 100.
		Moyenne.....	20,899

nombres qui se rapprochent beaucoup de ceux trouvés par M. Dumas, dans ses belles analyses sur l'air atmosphérique.

Pour parvenir à doser l'acide carbonique dans le gaz objet de nos recherches, nous nous sommes servis d'abord de l'acide sulfurique, et pour atteindre ce but, nous avons disposé ainsi qu'il suit notre appareil à dessiccation.

Cet appareil (*voyez Pl. IV, fig.* 3) se compose : 1° d'un grand tube A (1 mètre de longueur, 3 centimètres de diamètre) rempli de pierre ponce calcinée et humectée d'acide sulfurique ; 2° d'un petit tube recourbé B plongeant sous une cloche ; 3° d'un flacon rempli de mercure. C'est en ouvrant les robinets et en enfonçant graduellement la cloche, que l'on parvient à dessécher les gaz et à les recueillir dans le flacon d'appel (une heure pour 300 centimètres cubes).

Ainsi obtenu, notre gaz était distribué par partie égale dans deux cloches graduées et laissé de vingt-quatre à quarante-huit heures en contact avec la potasse caustique en cylindre, qui, sous cette forme, nous a permis d'employer des quantités d'alcali présentant la même étendue, et d'éviter par là des actions de surface toujours différentes, lorsqu'on se sert de fragments de potasse pris indifféremment.

Enfin, après nous être assurés chaque fois que notre flacon tenait bien le vide, nous n'avons admis pour nos résultats et conséquences, que les expériences qui ont marché de pair sans différence sensible, et nous avons toujours tenu compte, dans le calcul, des corrections apportées par les changements de pression et de température.

Avant de donner les résultats de nos analyses sur les gaz con-

tenus dans les végétaux, nous pensons qu'il est de toute nécessité de dire d'abord comment nous nous sommes procuré ces mêmes gaz.

Or, pour l'appréciation des phénomènes naturels qui reposent sur la décomposition de l'acide carbonique, nous avons commencé cette partie de notre travail par l'examen de l'air renfermé dans les fruits, et nous avons cru nous placer dans des circonstances favorables à cette étude, en adoptant la marche suivante :

Nous avons pris pour type de nos recherches les gousses du *Colutea arborescens*, que nous avons dit n'être perméables à l'air ambiant que dans des limites très-restreintes, et c'est sur la plante-mère exposée en plein air au Jardin du Roi, que nous les avons récoltées immédiatement avant de les crever sous le mercure, pour en recueillir les gaz sous des cloches préparées à cet effet.

Ce choix nous a permis, en outre, de suivre l'influence des différentes périodes de maturité sur la nature du mélange gazeux qui enveloppe les graines, et d'apprécier enfin convenablement l'action de la lumière selon son intensité.

Nous avons donc choisi des journées sombres et des jours parfaitement éclairés par le soleil; puis, dans les deux cas, nous avons cueilli les fruits à des heures déterminées et toujours les mêmes, savoir : à 7 heures du matin, à midi, à 4 heures et à 11 heures du soir.

Ces expériences, commencées le 10 juillet, se sont prolongées jusqu'à la fin de septembre.

Les gousses du *colutea* mettent environ un mois pour parvenir à leur maturité, et nous les avons prises dans les trois conditions les plus sensibles de leur période d'accroissement, savoir :

1°. Celles qui commencent à se développer après une semaine au plus; nous les appellerons *jeunes*.

2°. Celles qui après quinze jours, trois semaines, ont acquis tout leur volume, mais dont le péricarpe et la graine sont encore verts; nous les désignerons sous le nom d'*intermédiaires ;*

3°. Celles qui, avant la déhiscence, sont transparentes, presque sèches, et dont les semences se colorent; nous les nommerons *vieilles*.

Après avoir ainsi suivi pour les différentes gousses du baguenaudier les manipulations décrites plus haut, c'est-à-dire après avoir desséché par l'acide sulfurique les gaz qu'elles renferment, nous avons obtenu par la potasse caustique les résultats suivants. (*Voir* les tableaux I, II, III, p. 493, 494, 495.)

Pour déterminer l'oxygène dans les gaz privés d'humidité et d'acide carbonique, nous avons fait des essais eudiométriques qui nous ont donné, après l'étincelle, un reste que nous abandonnions jusqu'au lendemain avec des cylindres de potasse caustique

offrant entre eux la même surface. Comptant alors comme oxygène le tiers de la quantité de gaz disparue, en ramenant par le calcul toutes les différences de pression et de température aux mêmes degrés, nous avons pu apprécier les proportions d'oxygène renfermées dans les trois séries qui suivent. (*Voir* les tableaux IV et V, p. 496, 497.)

Réflexions sur le tableau. — 1°. Ces résultats numériques décèlent d'abord dans l'air des gousses des proportions énormes d'acide carbonique, quantités certes bien éloignées de $\frac{4}{10000}$ à $\frac{6}{10000}$ que renferme l'air atmosphérique.

2°. Ils démontrent, d'une manière frappante, que la somme d'acide carbonique est plus forte la nuit que le jour, et si l'on prend en effet les deux exemples extrêmes, celui de 11 heures du soir (2,746) et celui du moment où la lumière présente son maximum d'action (1,419), on voit que la proportion est une fois plus grande dans le premier cas que dans le second.

3°. Ce tableau, en donnant pour point de départ les exemples de nuit, permet encore de suivre graduellement la diminution progressive de l'acide carbonique jusqu'à l'instant où elle semble s'arrêter; cette coordination, en effet, parcourue de haut en bas, montre clairement que le degré de force décomposante de la lumière augmente avec le degré d'intensité de la lumière même, soit que l'on suive les heures d'une même journée, belle ou sombre, soit que l'on compare les résultats donnés par un ciel entièrement brumeux à ceux fournis par un soleil ardent.

Toutes ces conséquences sont donc hors de doute, car chacune d'elles est basée sur des faits qui se trouvent contrôlés six fois par la répétition des trois séries de gousses.

Cette décomposition de l'acide carbonique, qui commence avec le crépuscule et se poursuit dans le jour à la lumière diffuse, ne s'accorde donc pas avec ce que l'on pensait de la fixation du carbone, admise seulement dans le cas où la plante était directement frappée par les rayons du soleil.

4°. Il nous reste à donner maintenant la preuve de ce que nous avons avancé au sujet de la perméabilité très-limitée des gousses du baguenaudier, et cette preuve, nous la trouvons dans la colonne même qui renferme les chiffres de l'oxygène : on y observe, en effet, que la proportion de ce gaz augmente dans le fruit à mesure que l'acide carbonique s'y décompose, et les rapports qui existent entre l'acide disparu et l'oxygène en plus sont précisément tels, que cet oxygène d'augmentation peut être regardé comme celui qui, ayant fait partie de l'acide carbonique décomposé, a cédé son carbone au fruit.

Qu'il nous soit encore permis de faire sentir qu'en réunissant l'oxygène à l'acide carbonique, on obtient pour moyenne 23, et que la quantité d'acide carbonique déplace toujours de l'azote,

quelquefois même un peu d'oxygène; mais ce dernier cas n'existe qu'autant que le chiffre de l'acide est élevé, comme l'indique le premier exemple de chaque série.

On a certainement établi avant nous, par des expériences irrécusables, la fixation du carbone par les végétaux; mais l'on nous saura peut-être gré d'avoir démontré, par ces résultats, le mode d'action qu'exerce la lumière dans cette véritable réduction.

Nous ne nous sommes pas contentés de mesurer l'oxygène dans les gaz qui nous avaient servi à la détermination de l'acide carbonique, mais nous avons encore répété les expériences sur des gaz recueillis à cet effet et soumis à l'étincelle électrique après l'action unique de la potasse.

Nous ferons observer, enfin, que relativement à l'âge des gousses, la décomposition de l'acide carbonique augmente avec la force de végétation; aussi cette réduction est-elle plus sensible dans les intermédiaires que dans les jeunes, et dans les jeunes plus que dans les vieilles.

L'examen comparatif de la décomposition de l'acide dans les trois périodes de développement des feuilles carpellaires nous suggère une opinion que nous ne donnerons toutefois qu'avec réserve, c'est celle qui émettrait que les gousses vieilles ne présentant plus qu'un péricarpe à peu près dépourvu de matière verte, et dans lequel la vie semble devoir bientôt s'éteindre, retiennent d'abord par prévoyance, pour ainsi dire, une dose probablement assez forte d'acide carbonique condensé, et que peu à peu ces sortes de réservoirs la cèdent aux semences, qui lentement s'en assimilent le carbone, jusqu'à ce qu'elles aient acquis tout leur volume. La gousse alors s'ouvre spontanément, et la graine se colore à l'air libre. (*Voir* les tableaux VI et VII, p. 498.)

CHAPITRE III. — *Expériences sur les tiges.*

On a dit que toutes les parties vertes des plantes agissent de la même manière sur l'air et sur l'acide carbonique qui les environnent; mais cette action paraît varier un peu, du moins d'après nos résultats, selon les organes et suivant les besoins de ces mêmes organes ou parties des végétaux.

Nous avons donc, pour l'examen de l'air contenu dans les tiges, choisi des individus dont le canal médullaire présentait des lacunes capables de fournir de suite les gaz dont nous avions besoin.

Ce système nous a permis d'éviter les moyens employés par nos devanciers, moyens que nous croyons imparfaits, par les mêmes raisons que nous avons fait valoir à propos des fruits et des feuilles.

Nous dirons seulement que M. Th. de Saussure a remarqué, dans ses expériences sur les tiges ligneuses coupées et fermées sous des cloches, une expiration d'acide carbonique, à l'ombre

comme au soleil; mais nous ne reviendrons pas sur les causes d'altération qui ont pu modifier les sucs de ces parties de plantes et provoquer les résultats particuliers que l'auteur a obtenus.

Nous lisons cependant plus loin, dans le même ouvrage, des expériences entreprises sur des rameaux encore adhérents à la plante fixée au sol; mais les résultats et leur explication laissant à désirer, suivant nous, que quelqu'un reprît ce travail pour pouvoir en tirer des conclusions plus rigoureuses, nous avons opéré ainsi qu'il suit :

Deux séries d'expériences ont été faites, les unes de midi à une heure, les autres de 11 heures à minuit, et toutes sur des plantes vivant en plein air.

Ces tiges offraient de distance en distance, à chaque nodosité, une cloison parfaitement fermée par une espèce de plexus membraneux capable d'intercepter le libre accès de l'air extérieur et même la sortie des gaz renfermés d'une cloison à l'autre, lorsqu'on exerçait sur eux une certaine compression par le mercure.

Ces tiges, cueillies et rapidement effeuillées, étaient introduites dans la cuve hydrargiropneumatique, pour y être sur-le-champ coupées et vidées sous des cloches remplies de mercure.

Pour réussir dans cette circonstance, on maintenait la cloche convenablement enfoncée dans le bain, tandis qu'une autre personne, d'une main, plongeait dans la cuve l'extrémité inférieure de la tige, de l'autre main la coupait un peu au-dessous du nœud suivant, et faisait monter ainsi dans la cloche tout l'air renfermé entre les deux premières cloisons : on agissait de même pour chaque espace des rameaux noueux.

Toutefois, dans un cas particulier, celui du *Phytolacca decandra*, on a eu recours à une petite tige métallique pour crever sous le mercure les cellules à paroi sèche qui remplissent ces tiges; c'est ainsi que l'on perçait, sous des récipients, les morceaux coupés au fur et à mesure qu'on les privait de leur gaz, en même temps qu'une troisième personne conservait dans le mercure la partie tranchée, pour prévenir tout accès de la part de l'air extérieur.

Dans toutes circonstances, les gaz obtenus et traités comme ceux des fruits, savoir, par l'acide sulfurique d'abord, par la potasse ensuite, et enfin par l'hydrogène, nous ont donné les résultats ci-après. (*Voir* les tableaux VIII et IX, p. 499, 500.)

1°. Il résulte de cet exposé, que l'air trouvé dans ces tiges n'est pas de l'air atmosphérique, mais un gaz particulier, comme l'indique, indépendamment de l'oxygène, la forte proportion d'acide carbonique; et la présence d'une telle somme de ce dernier semble s'expliquer par les besoins même de la tige plus ou moins ligneuse, dont il est l'aliment essentiel. Aussi, après avoir médité le grand rôle que joue cet acide dans les végétaux, croyons-

nous pouvoir ajouter, d'après les exemples suivants, que l'absorption de l'acide carbonique paraît être en rapport de la force de végétation, comme nous l'avons déjà signalé pour les gousses :

Sonchus (végétation avancée)..........	2,326
Dalhia (pleine végétation)...........	2,881
Hœracleum (végétation avancée).......	1,408
Angélique (pleine végétation).........	1,766

2°. Il découle également de notre tableau, que la dose d'acide carbonique est plus forte la nuit que le jour, mais que la différence, si l'on se souvient de ce qui a été dit précédemment, est loin d'être aussi sensible que dans le cas des fruits.

Le second fait peut, selon nous, trouver son explication dans l'appréciation des circonstances particulières où se trouvent les tiges, savoir : qu'une partie de cette même tige présente seule sa surface à l'action décomposante de la lumière, tandis que l'autre partie, le caudex descendant, vulgairement appelé *racine*, étant constamment dans l'obscurité, ne concourt qu'à l'absorption, et joignez à ces raisons la puissante aspiration des spongioles. Or, si toute la tige, comme nous la considérons, absorbe du gaz acide, et qu'une partie seulement se prête à la décomposition, on conçoit que la diminution d'acide carbonique n'y soit pas aussi sensible que dans l'exemple des gousses, surtout si l'on tient compte de cette observation, que la réduction de l'acide peut encore être rendue plus lente par la petite quantité de matière verte qui constitue la médulle externe.

3°. Nous ferons encore observer un troisième fait, que nous jugeons assez remarquable pour penser d'abord que pendant la nuit, les tiges sont loin d'agir de la même manière que les fruits sur l'air qu'elles contiennent; car on voit, dans nos analyses sur les tiges, que la proportion d'oxygène augmente la nuit, avec celle de l'acide carbonique, soit de 2 pour 100, par exemple, pour le ricin, et l'on se rappelle que pour les gousses, l'oxygène diminue toujours avec l'augmentation de l'acide carbonique.

Mais nous ne pensons pas que nos expériences aient été suffisamment répétées et variées dans cette voie, pour nous permettre de rechercher l'explication de ce fait inattendu.

Avant de quitter le sujet dont nous venons d'entretenir le lecteur, nous croyons pouvoir donner certains résultats d'un grand intérêt physiologique; mais nous ne les publions qu'avec toute la réserve que comporte une seule expérience, la saison et l'état avancé de la végétation étant venus interrompre notre travail. (*Voir* les tableaux X et XI, p. 501.)

Néanmoins de ces expériences, qu'il nous a été impossible de contrôler par d'autres exemples, il résulte que l'acide carbonique diminue dans les tiges du *Phytolacca* à mesure que la floraison se

manifeste et que la fructification s'avance, comme le démontrent les tableaux X et XI et le résumé suivant :

	Nuit.	Jour.
Sans fleurs...	2,646	
Avec fleurs..	2,256	0,584
Avec fruits..	2,116	0,951

4°. La présence des matières hydrogénées paraît influer sur la quantité d'acide carbonique ; ainsi, en comparant une plante plus ou moins chargée d'huile essentielle, avec une plante inodore, nous trouvons dans les tiges déjà citées les exemples suivants :

Sonchus...	2,326	Dahlia....	2,881
Hœracleum	1,408	Angélique.	1,766

Nous joindrons enfin ici une expérience que nous n'avons pas été à même de répéter, mais qui viendrait appuyer ce que nous avons dit au commencement de ce Mémoire, au sujet des plantes étudiées dans des circonstances que nous avons regardées comme anormales.

Nous avons coupé à leur base des tiges d'*Arundo donax*, puis nous avons avec soin mastiqué et ciré la partie coupée, afin d'éviter tout mélange avec l'air extérieur.

Cet *arundo*, ainsi abandonné pendant trois jours à la lumière diffuse d'une salle humide, a produit une absorption d'oxygène et une augmentation d'acide carbonique :

		Oxygène.	CO^2.
Exemples comparatifs.	Arundo anormal.	19,863	4,411
	Arundo normal..	18,119	4,238
	Différence......	1,744	0,173

CHAPITRE IV. — *De l'ammoniaque dans l'air confiné dans les végétaux.*

Tous les auteurs qui se sont occupés de l'importante question de la fixation de l'azote par les plantes s'accordent à dire que ce principe n'est pas emprunté à l'air sous la forme de corps simple.

Les expériences de M. Boussingault sur ce même sujet établissent une distinction entre certaines plantes qui empruntent à l'air une grande quantité d'azote, et d'autres qui ont besoin de tirer tout leur azote des engrais.

L'auteur de ces expériences, comme chacun le sait, a publié dans ces derniers temps des recherches remarquables sur les phénomènes de la germination et de la culture des pois, des trèfles, du froment, de l'avoine, et dans toutes ces opérations a évité, avec le plus grand soin, le concours de toute matière organique.

1°. On en conclut que, pendant la germination, la graine perd du carbone, de l'oxygène et de l'hydrogène, tandis que son azote reste et n'augmente pas.

2°. Que pendant la culture, la graine, devenue plante, gagne du carbone, de l'oxygène, de l'hydrogène, et peut même, malgré la privation de tout engrais, s'assimiler de l'azote en quantité considérable, comme le prouvent les résultats fournis par le trèfle et surtout par les pois, dont l'azote primitif se trouve plus que doublé dans la récolte.

Ces faits, donnés par M. Boussingault, confirment en outre, d'une manière positive, les opinions émises par M. Chevreul, dans ses *Considérations générales et inductions relatives à la matière des êtres vivants;* opinions émises dans un passage que précédemment nous n'avons qu'effleuré, et que nous reproduisons ici :

« Le jeune végétal trouve dans la graine, comme le jeune » animal dans l'œuf, tout ce qui est nécessaire à son développement, moins le gaz atmosphérique; la température et l'eau » qui lui viennent du dehors, et les principes immédiats qu'ils » contiennent l'un et l'autre, rendent parfaitement compte du » rôle qu'ils jouent comme matière propre au développement des » germes (1). »

Enfin, ne voulant pas entrer ici dans tous les détails que pourrait comporter l'historique de ces recherches, et nous étant bornés à l'exposé des principales expériences relatives à ce sujet, nous sommes portés à penser que l'on conviendra que ce n'est que par induction que l'on a cru pouvoir attribuer l'origine de l'azote dans les plantes à telle ou telle cause, et mieux que nous, M. Dumas, à qui nous empruntons les lignes suivantes, saura résumer l'état actuel de nos connaissances sur cette grande question :

« Dans certaines conditions, plusieurs plantes sont aptes à puiser de l'azote dans l'air ; mais dans quel état l'azote se fixe-t-il » dans les végétaux? c'est ce que nous ignorons encore (2). »

D'après les opinions et les faits que nous venons de reproduire, l'utilité de l'azote dans la végétation a été mise hors de doute par tous les savants; mais ces dernières paroles de M. Dumas ayant jeté de l'incertitude dans notre esprit sur l'origine de l'azote dans les plantes, nous avons cru qu'il serait utile pour la science de déterminer expérimentalement s'il pouvait provenir de l'ammoniaque de l'air et concourir, avec les sels ammoniacaux du sol, à la formation des principes azotés; et nous savons bon gré aujourd'hui à ces mêmes paroles, car elles nous ont engagés à tenter des expériences

---

(1) Voir pour plus de détails *Journal des Savants,* novembre 1837, p. 663.

(2) *Essai de Statique chimique des êtres organisés,* page 28.

directes sur l'air confiné dans les végétaux, et nous avons été assez heureux pour y découvrir la présence de l'ammoniaque.

Pour parvenir à ces résultats, nous avons donc recueilli les gaz sous le mercure dans des cloches bien propres et immédiatement après la récolte des plantes, comme nous l'avons fait précédemment pour les fruits et les tiges.

Puis, durant le cours de ces expériences, nous avons pris, d'une part, la précaution de transvaser les gaz dans d'autres récipients, de manière à faire disparaître toutes traces de matière organique végétale susceptible d'adhérer aux parois des premières cloches, et nous avons évité, d'autre part, avec le plus grand soin, toutes les circonstances qui auraient pu provoquer dans l'air du laboratoire les moindres vapeurs ammoniacales.

Possédant alors les gaz dans un état convenable, nous nous sommes servis de notre appareil, décrit à la page 483; mais, au grand tube rempli de pierre ponce, nous avons substitué le tube à boule de MM. Warrentrapp et Will; ce tube à boule, parfaitement lavé à l'eau distillée, était convenablement rempli d'acide chlorhydrique faible, et l'écoulement du gaz à travers ce liquide était ménagé bulle à bulle.

Dès que cette première partie de l'opération était terminée, l'on versait, dans des fioles à fond plat, l'acide chlorhydrique réuni à l'eau distillée employée à rincer le tube, et l'on traitait de suite les liqueurs par le chlorure de platine en excès, puis on procédait à l'évaporation à une douce chaleur.

Nous ajouterons, pour plus de sécurité, que l'eau distillée et l'acide avaient été essayés en les mettant dans les mêmes circonstances de réactif et d'évaporation, sans y constater la présence de la moindre trace de chlorure double, et que nous avons préféré l'usage de ces fioles à celui des capsules pour prévenir pendant l'évaporation le contact du liquide avec l'air atmosphérique auquel il aurait pu emprunter des traces d'ammoniaque.

Le résidu sec obtenu dans nos expériences a toujours été lavé à plusieurs reprises par le mélange d'alcool et d'éther, avec toutes les précautions indiquées par MM. Warrentrapp et Will; puis, le dépôt de chlorure double, recueilli sur un filtre, était séché à 100 degrés et pesé sur-le-champ avec le filtre même dont on avait préalablement déterminé le poids à la même température.

Pour prévenir toute objection sur la nature de ce précipité, nous l'avons chauffé au rouge dans un petit tube de verre fermé à l'un des bouts, et bientôt nous avons été à même de remarquer, un peu au-dessus du précipité, la formation d'un anneau blanchâtre que l'on pouvait déplacer à son gré avec la flamme de la lampe à alcool; l'hydrate de chaux, ajouté dans ce tube refroidi, en dégageait de l'ammoniaque parfaitement reconnaissable au papier de

tournesol rouge suspendu au-dessus de l'ouverture du tube. (*Voir* le tableau XII, p. 502.)

1°. Il résulte de ce tableau que l'ammoniaque (sans doute combinée) existe à l'état de gaz dans les plantes, sans exception du moins pour les tiges et les fruits que nous avons soumis à l'examen;

2°. Que cette ammoniàque est, de même que l'acide carbonique, empruntée à l'air et condensée par la plante, car l'on sait que l'air en contient des traces et que ces quantités sont presque nulles pour 33 centimètres cubes d'air;

3°. Que si l'ammoniaque pénètre ainsi en minime quantité à travers les tissus, sans être sur-le-champ modifiée par les parties vertes, quelle que soit l'influence du soleil et de la nuit, et si toujours elle s'y trouve en proportions plus ou moins constantes, c'est qu'elle est nécessaire à la végétation.

Conclusions.

1°. Les gousses du *Colutea arborescens* ne sont perméables à l'air que dans des limites fort restreintes;

2°. La décomposition de l'acide carbonique par les végetaux a lieu à la lumière diffuse et au soleil;

3°. La décomposition de l'acide carbonique dans les plantes est toujours proportionnelle à l'intensité de la lumière et à la durée de l'action de ce fluide;

4°. L'acide carbonique, qui disparaît dans les gousses sous l'influence des rayons lumineux, est complétement décomposé en oxygène et en carbone;

5°. L'absorption de l'acide carbonique par les plantes est en rapport de la force de végétation;

6°. L'air dans les tiges ne subit pas les mêmes modifications que celui des fruits; car, la nuit, l'oxygène et l'acide carbonique y augmentent en même temps;

7°. L'ammoniaque existe à l'état de gaz dans les végétaux.

La saison étant venue interrompre nos recherches sur les changements que peut éprouver la composition de l'air contenu dans les plantes, selon les organes et selon les circonstances dans lesquelles se passent les phénomènes chimiques de la végétation, nous renvoyons à l'année prochaine l'appréciation de l'action des pluies, de l'influence des engrais, ce qui fera l'objet d'un second Mémoire.

En terminant, nous nous faisons un devoir, ou plutôt un plaisir, d'adresser des remercîments à M. Neumann, directeur des serres au Muséum d'Histoire naturelle, pour l'extrême obligeance avec laquelle il a bien voulu mettre à notre disposition les plantes dont nous avions besoin pour nos expériences.

Tableau n° I. — *Détermination de l'acide carbonique en volume* (*), *contenu dans les* INTERMÉDIAIRES *par la potasse caustique en cylindres.*

HEURES des expériences. État du ciel.	QUANTITÉS de gaz employé en centim. cubes.	ABSORPTION totale par la potasse.	Pour 100.	MOYENNES.
	c c.	c c.	c c.	c c.
11 heures. Nuit.	101	3,00	2,970	2,746
Id.	119	3,00	2,521	
7 h. du mat. Sombre.	133	3,50	2,603	2,610
Id.	134	3,50	2,632	
12 h. du mat. Sombre.	124	3,00	2,419	2,429
Id.	123	3,00	2,439	
4 h. du soir. Sombre.	105	2,66	2,534	2,482
Id.	103	2,50	2,427	
7 h. du matin. Soleil.	143,25	2,75	1,887	1,903
Id.	145,75	2,75	1,919	
12 h. du matin. Soleil.	140	2,00	1,409	1,419
Id.	142	2,00	1,429	
4 h. du soir. Soleil..	139	2,00	1,439	1,438
Id.	139	2,00	1,437	

(*) Dans les calculs on a tenu compte des variations de température et de pression.

Tableau n° II. — *Détermination de l'acide carbonique en volume* (*), *contenu dans les* JEUNES *par la potasse caustique en cylindres.*

HEURES. des expériences. État du ciel.	QUANTITÉS de gaz employé en centim. cubes.	ABSORPTION totale par la potasse.	Pour 100.	MOYENNES.
11 heures du soir.	c c. 175	c c. 4,75	c c. 2,715	c c. 2,639
Id..	78	2,00	2,564	
7 h. du mat. Sombre.	145	3,75	2,587	2,605
Id.........	143	3,75	2,623	
12 h. du mat. Sombre.	160	4,00	2,500	2,446
Id..........	115	2,75	2,392	
4 h. du soir. Sombre.	151	3,75	2,483	2,475
Id..	152	3,75	2,467	
7 h. du matin. Soleil.	113	2,25	1,945	1,934
Id.........	113,50	2,25	1,923	
12 h. du matin. Soleil.	113	2,00	1,769	1,762
Id	114	2,00	1,755	
4 h. du soir. Soleil.	119	2,50	2,101	2,093
Id	120	2,50	2,084	

(*) Corrections faites pour les variations de température et de pression.

Tableau n° III. — *Détermination de l'acide carbonique en volume (*), contenu dans les* VIEILLES *par la potasse caustique en cylindres.*

HEURES des expériences. État du ciel.		QUANTITÉS de gaz employé en centim. cubes	ABSORPTION totale par la potasse.	Pour 100.	MOYENNES.
Nuit...............		c c. 140	c c. 4,00	c c. 2,942	c c. 2,942
Id..........		140	4,00	2,942	
Matin.	Sombre.	117	3,00	2,564	2,609
Id..........		113	3,00	2,654	
Matin.	Sombre.	143	3,50	2,465	2,461
Id.........		142,5	3,50	2,457	
Soir.	Sombre.	191	4,75	2,489	2,475
Id..........		193	4,75	2,461	
Matin.	Soleil. .	107	2,50	2,337	2,316
Id..........		109	2,50	2,294	
Matin.	Soleil. .	144,75	3,00	2,073	2,106
Id..........		141	3,00	2,138	
Soir.	Soleil...	142	3,00	2,114	2,107
Id.........		143	3,00	2,099	

(*) Toutes corrections faites pour les variations de température et de pression.

Tableau n° IV. — *Détermination en volume des quantités d'oxygène trouvées dans les trois sortes de gousses :* JEUNES, INTERMÉDIAIRES *et* VIEILLES.

GOUSSES JEUNES.

HEURES des expériences. État du ciel.	QUANTITÉS d'oxygène pour 100.	MOYENNE.
	cc.	cc.
Nuit	20,473	20,583
Id..	20,693	
Matin. Sombre..	20,723	20,626
Id	20,683	
Id	20,473	
Midi. Sombre..	20,793	20,766
Id	20,738	
Soir. Sombre..	20,704	20,743
Id	20,782	
Matin. Soleil..	20,958	20,844
Id..	20,726	
Midi. Soleil..	21,000	21,032
Id.........	21,064	
Soir. Soleil....	21,218	21,246
Id	21,274	

GOUSSES INTERMÉDIAIRES.

HEURES des expériences. État du ciel.	QUANTITÉS d'oxygène pour 100.	MOYENNE.
	cc.	cc.
Nuit...........	20,347	20,496
Id.......	20,645	
Matin. Sombre.	20,697	20,673
Id..	20,648	
Midi. Sombre.	20,934	20,908
Id.......	20,881	
Soir. Sombre..	20,900	20,902
Id	20,901	
Matin. Soleil..	21,232	21,086
Id........	20,940	
Midi. Soleil..	21,235	21,293
Id........	21,351	
Soir. Soleil...	21,186	21,176
Id........	21,209	
Id........	21,118	
Id........	21,192	

GOUSSES VIEILLES.

HEURES des expériences. État du ciel.	QUANTITÉS d'oxygène pour 100.	MOYENNES.
	cc.	cc.
Nuit.	19,416	19,297
Id.	19,178	
Matin. Sombre.	20,171	20,166
Id........	20,160	
Midi. Sombre.	20,632	20,626
Id........	20,621	
Id........	20,625	
Soir. Sombre..	20,602	20,595
Id........	20,588	
Matin. Soleil..	21,117	21,139
Id...... .	21,160	
Midi. Soleil..	21,159	21,246
Id	21,333	
Soir. Soleil...	20,625	20,676
Id........	20,726	

Tableau n° V. — *Tableau comparatif des moyennes d'oxygène et d'acide carbonique données dans les tableaux précédents.*

Gousses intermédiaires.

HEURES des expériences. État du ciel.		MOYENNES de l'oxygène.	MOYENNES de l'acide carboniq.	OXYGÈNE et acide carbon. réunis.
		cc.	cc.	cc.
Nuit		20,496	2,746	23,242
Matin.	Sombre	20,673	2,618	23,291
Midi.	Sombre	20,908	2,429	23,337
Soir.	Sombre	20,901	2,482	23,383
Matin.	Soleil	21,086	1,903	22,989
Midi.	Soleil	21,293	1,419	22,712
Soir.	Soleil	21,176	1,438	22,614
			Moyenne	23,081

Gousses jeunes.

HEURES des expériences. État du ciel.		MOYENNES de l'oxygène.	MOYENNES de l'acide carboniq.	OXYGÈNE et acide carbon. réunis.
		cc.	cc.	cc.
Nuit		20,583	2,639	23,222
Matin.	Sombre	20,626	2,605	23,231
Midi.	Sombre	20,766	2,446	23,012
Soir.	Sombre	20,743	2,475	23,218
Matin.	Soleil	20,844	1,934	22,778
Midi.	Soleil	21,032	1,762	22,794
Soir.	Soleil	21,246	2,093	23,339
			Moyenne	23,085

Gousses vieilles.

HEURES des expériences. État du ciel.		MOYENNES de l'oxygène.	MOYENNES de l'acide carboniq.	OXYGÈNE et acide carbon. réunis.
		cc.	cc.	cc.
Nuit		19,297	2,942	22,239
Matin.	Sombre	20,166	2,609	22,775
Midi.	Sombre	20,626	2,461	23,087
Soir.	Sombre	20,595	2,475	23,170
Matin.	Soleil	21,139	2,316	23,455
Midi.	Soleil	21,246	2,106	23,342
Soir.	Soleil	20,676	2,107	22,783
			Moyenne	22,979

Tableau n° VI. — Expériences sur les follicules de l'*Asclepias syriaca*.

*Détermination de l'acide carbonique dans les fruits de l'*Asclepias.

HEURES des expériences. État du ciel.	QUANTITÉS de gaz employé en centim. cubes.	ABSORPTION totale par la potasse.	Pour 100.	MOYENNES.
Jour. Midi. Sombre.	cc. 138	cc. 1,00	cc. 0,725	cc. 0,721
Id. *Id.*......	136	1,00	0,717	
Nuit. 11 heures......	98,25	2,59	2,669	

Tableau n° VII. — *Détermination de l'acide carbonique dans les fruits du* Symphoricarpos racemosa.

HEURES des expériences. État du ciel.	QUANTITÉS de gaz employé.	ABSORPTION totale par la potasse.	Pour 100.	MOYENNES.
Jour. Midi. Soleil. .	cc. 115,25	cc. 2,00	cc. 1,107	cc. 1,101
Id. *Id.*.......	114,00	2,00	1,094	
Nuit, 11 heures......	146,50	3,00	2,083	2,066
Id. *Id.*.......	144,00	3,00	2,048	

Tableau n° VIII. — *Détermination en centimètres cubes de l'acide carbonique contenu dans plusieurs espèces de tiges.*

HEURES des expériences.	QUANTITÉS de gaz employé.	ABSORPTION totale par la potasse.	Pour 100.	MOYENNES.	DIFFÉRENCES d'acide carbonique entre la nuit et le jour.
		Haracleum sphondylium.			
Nuit...........	cc. 141,5	cc. 2,00	cc. 1,416	cc. 1,408	
Id.........	143,0	2,00	1,399		
		Angelica archangelica.			
Nuit...........	136,0	3,523	2,590	2,581	cc. 0,815 nuit.
Id.........	137,0	3,523	2,572		
Jour...........	98,0	1,75	1,786	1,766	
Id.........	101,0	2,00	1,980		
		Sonchus vulgaris.			
Jour...........	87,0	2,00	2,299	2,326	
Id.........	85,0	2,00	2,353		
		Ricinus communis.			
Nuit...........	194,0	6,00	3,093	3,078	0,347 nuit.
Id.........	196,0	6,00	3,062		
Jour...........	148,0	4,00	2,703	2,721	
Id.........	146,0	4,00	2,739		
		Dahlia variabilis.			
Nuit...........	99,33	3,33	3,353	3,133	0,252 nuit.
Id.........	103,00	3,00	2,913		
Jour...........	115,25	3,25	2,819	2,881	
Id.........	119,00	3,50	2,942		
		Leycesteria formosa.			
Nuit...........	129,00	3,85	2,873	2,879	0,612 nuit.
Id.........	126,00	3,68	2,884		
Jour...........	140,00	3,00	2,143	2,267	
Id........	139,33	3,33	2,390		
		Arundo donax.			
Nuit...........	118,0	5,45	4,619	4,619	0,212 nuit.
Id........	118,0	5,45	4,619		
Jour...........	130,0	5,68	4,442	4,407	
Id.........	127,66	5,67	4,371		

Tableau n° IX. — *Détermination de l'oxygène dans les tiges.*

HEURES des expériences.	QUANTITÉS d'oxygène sur 100.	MOYENNES.	QUANTITÉS indiquant l'augmentation de l'oxygène, la nuit comparée à celle du jour.
	Heracleum sphondylium.		
Jour	cc. 19,687	cc. 19,653	
Id.	19,619		
	Angelica archangelica.		
Nuit	20,333	20,364	cc. 0,580
Id.	20,395		
Jour	19,739	19,784	
Id.	19,828		
	Sonchus vulgaris.		
Nuit	19,829	19,774	1,803
Id.	19,718		
Jour	17,987	17,971	
Id.	17,955		
	Ricinus communis.		
Nuit	18,633	18,658	1,780
Id.	18,679		
Jour	16,886	16,876	
Id.	16,866		
	Dahlia variabilis.		
Nuit	18,716	18,691	0,498
Id.	18,666		
Jour	18,169	18,193	
Id.	18,216		
	Leycesteria formosa.		
Nuit	19,151	19,137	0,434
Id.	19,122		
Jour	18,232	18,703	
Id.	18,006		
	Arundo donax.		
Nuit	18,844	18,823	0,704
Id.	18,802		
Jour	18,232	18,119	
Id.	18,006		

Tableau n° X. — *Détermination de l'acide carbonique en volume, contenu dans les tiges du* Phytolacca decandra *sans fleurs, avec fleurs, avec fruits.*

HEURES des expériences.	QUANTITÉS de gaz employé en centimètres cubes.	ABSORPTION totale par la potasse.	Pour 100.	MOYENNE.	DIFFÉRENCE.
		Sans fleurs.			
Nuit.	cc. 150,0	cc. 4,00	cc. 2,700	cc. 2,646	
Id.	96,0	2,50	2,591		
		Avec fleurs.			
Nuit.	133,0	3,00	2,256	2,256	c.c. 1,672
Jour.	92,0	0,54	0,587	0,584	
Id. ...	93,0	0,54	0,581		
		Avec fruits.			
Nuit	124,5	2,65	2,129	2,116	1,165
Id	126,0	2,65	2,104		
Jour	182,0	1,71	0,939	0,951	
Id	143,5	1,38	0,962		

Tableau n° XI. — *Détermination en volume de l'oxygène dans les tiges du* Phytolacca decandra, *sans fleurs, avec fleurs, avec fruits.*

HEURES des expériences.	QUANTITÉS d'oxygène pour 100.	MOYENNES.	QUANTITÉS d'oxygène à l'avantage de la nuit.
	Sans fleurs.		
Nuit.	cc. 20,829	cc. 20,858	cc. 0,172
Id.........	20,887		
Jour.	20,678	20,686	
Id.	20,694		
	Avec fleurs.		
Nuit...............	20,661	20,664	0,466
Id	20,667		
Jour.	20,161	20,198	
Id.	20,235		
	Avec fruits.		
Nuit.	20,934	20,884	0,219
Id	20,833		
Jour.	20,531	20,565	
Id	20,598		

Dans ces calculs, on a tenu compte des variations de température et de pression, ainsi que dans le tableau précédent.

Tableau n° XII. — *Détermination de l'ammoniaque contenue à l'état de gaz dans l'air des végétaux, et dosée sous forme de chlorure double de platine et d'ammoniaque.*

NOMS DES PLANTES	HEURES des expériences.	QUANTITÉS de gaz employés en centimètres cubes.	QUANTITÉS de chlorure double de platine et d'ammoniaque.
		cc.	gr.
Leycesteria formosa..	Jour.	550	0,008
Id...........	Nuit.	360	0,015
Arundo donax........	Jour.	370	0,0085
Id...........	Nuit.	330	0,006
Ricinus communis....	Jour.	1160	0,012
Id...........	Nuit.	1170	0,010
Phytolacca...........	Jour.	940	0,007
Avec fruits..........	Nuit.	1140	0,0155
Av. fleurs et sans fleurs	Nuit.	550	0,025
Gousses intermédiaires	Jour.	473	0,005
Id...........	Nuit.	1650	0,097
Total.............		8693	0,2090

SUR UNE MÉTHODE NOUVELLE POUR L'ANALYSE DU SANG ET SUR LA CONSTITUTION CHIMIQUE DES GLOBULES SANGUINS ;

PAR M. L. FIGUIER.

(Note présentée à l'Académie des Sciences le 8 juillet 1844.)

Les belles recherches de MM. Andral et Gavarret, sur les variations qui surviennent dans la composition du sang par le fait des maladies, ont mis hors de doute un ensemble de faits qui représentent assurément l'un des résultats les plus curieux de l'application de l'analyse chimique à l'étude des actes de l'économie. Tout porte à croire, d'ailleurs, que ces faits prendront une extension beaucoup plus grande, lorsque les analyses du sang pourront être variées et multipliées aisément. Aussi, j'espère que l'Académie accueillera avec plaisir l'annonce d'une méthode nouvelle pour l'analyse de ce liquide, qui réunit à une précision incontestable une facilité singulière d'exécution.

Le principe de ce mode nouveau d'analyse repose sur un fait observé, depuis plusieurs années, par M. Berzelius. Ce chimiste trouva que, si l'on ajoute à du sang défibriné par le battage une solution d'un sel neutre, comme du sulfate de soude, du sel marin ou de l'eau sucrée, on peut retenir sur le filtre une grande partie des globules; tandis que, dans les conditions ordinaires, le sang défibriné jeté sur un filtre traverse le papier avec tous ses globules. Je suis parvenu, après plusieurs tâtonnements, à régulariser ce fait curieux de manière à le rendre applicable à l'analyse rigoureuse du sang. Ainsi j'ai trouvé, qu'en employant une dissolution de sulfate de soude marquant 16 à 18 degrés à l'aréomètre de Baumé, et en prenant deux volumes de la solution saline pour un volume de sang, tous les globules restent à la surface du filtre. Si on examine, en effet, au microscope le liquide qui a traversé le papier, on aperçoit à peine cinq ou six globules échappés à l'action du filtre, tandis que la couche restée sur le papier remplit le champ de l'instrument de globules pressés, ne laissant entre eux que fort peu d'intervalle.

D'après cela, l'analyse se résume dans ces quelques opérations fort simples.

L'opération du battage donne le poids de la fibrine. Le poids des globules est obtenu en les recueillant sur un filtre, par l'artifice de la dissolution saline; celui de l'albumine en coagulant par la chaleur le liquide filtré. Enfin, la proportion de l'eau est déterminée par l'évaporation d'une petite quantité de

liquide d'un poids connu. Les matières salines sont dosées par différence.

On comprend sans peine tous les avantages d'une méthode qui permet d'isoler et de doser directement tous les éléments du liquide sanguin. Ses avantages ressortiront d'ailleurs avec plus d'évidence, si l'on rappelle ici, comme cela est nécessaire, la méthode employée aujourd'hui pour les analyses de ce genre.

Dans ce procédé, indiqué par M. Dumas, l'analyse s'effectue en partie sur le sang coagulé et en partie sur le sang défibriné par le battage. Voici la suite des opérations que l'on doit exécuter.

1°. On partage en deux parties le sang de la saignée; mais, comme par suite de l'absorption de l'eau effectuée par les veines dans le cours même de la saignée, la proportion d'eau est plus faible dans les premières que dans les dernières portions du jet liquide, il faut employer, dans la manière de recueillir le sang, un artifice particulier.

On prend deux vases de même capacité et pouvant contenir chacun environ 180 grammes d'eau, puis on marque par un trait deux capacités bien égales sur l'un et l'autre de ces vases. Pendant l'écoulement de la saignée, on fait arriver dans l'un, que j'appellerai le vase A, le premier et le dernier quart du jet liquide; dans l'autre, le vase B, on reçoit le deuxième et le troisième quart.

Les deux moitiés de la saignée recueillie ont évidemment ainsi la même composition sous le rapport de la quantité d'eau, quelle que soit l'influence de la durée de l'écoulement.

2°. Le liquide du vase B est battu pour en séparer la fibrine que l'on pèse après l'avoir séchée.

3°. Le sang du vase A, abandonné à lui-même, fournit un coagulum que l'on recueille et que l'on pèse humide.

4°. Ce caillot est évaporé à siccité, et on pèse le résidu.

5°. Le sérum, abandonné par ce caillot, est évaporé à siccité, et l'on prend le poids du résidu.

6°. Enfin ce dernier résidu pesé est calciné dans un creuset, et l'on détermine le poids des cendres qu'il laisse après la calcination.

Voici maintenant comment on interprète ces différentes données pour arriver à la composition du sang examiné.

La fibrine est fournie directement par l'opération du battage.

Le poids de l'eau est représenté par la différence entre le poids du sérum liquide et du caillot humide, et les poids réunis des résidus secs laissés par le sérum et le caillot évaporés.

Les globules sont dosés indirectement *en retranchant du poids du caillot sec la quantité de fibrine déjà trouvée*. Il ne faut pas oublier, toutefois, que le caillot desséché retenant nécessairement les matières fixes du sérum qui l'imprégnait, on doit tenir compte de celles-ci. On admet en conséquence que l'eau qui baigne le caillot

peut se représenter sans erreur trop sensible par du sérum, et dès lors on retranche du poids du caillot sec la quantité de matières fixes contenue dans le sérum qu'il renfermait; ce qui est facile, attendu que l'on sait déjà combien un poids connu de sérum laisse de résidu.

Le poids de l'albumine du sérum est déterminé par la *différence entre le poids du résidu sec du sérum et le poids des cendres laissées par ce résidu après sa calcination dans le creuset.* Comme on le voit, on suppose ici, ce qui d'ailleurs ne s'éloigne pas beaucoup de la vérité, que l'albumine représente à elle seule tous les matériaux organiques du sérum.

Les sels sont fournis directement par la calcination. Tel est le procédé de M. Dumas qui exige, comme on le voit, des opérations longues et assez nombreuses. Tel qu'il est cependant, il a suffi à MM. Andral et Gavarret pour enrichir la science des beaux résultats que l'on connaît. Aussi, je ne m'arrêterai pas à discuter la valeur réelle des chances légères d'erreurs que cette méthode peut offrir. Les personnes qui se sont imposé cette tâche oubliaient sans doute que l'analyse des matières complexes de l'économie ne peut aspirer à la rigueur de nos analyses minérales.

Toutefois, en ce qui touche la valeur comparée de ces deux méthodes d'analyse, il suffit, je pense, pour faire ressortir la supériorité de celle dont je propose l'adoption, de dire que par son emploi tous les éléments du sang étant isolés et déterminés par des pesées directes, toute chance d'erreur semble écartée. On me permettra seulement d'ajouter qu'elle offre encore deux avantages particuliers. Le premier, c'est de n'exiger qu'un temps fort court et que des opérations très-simples. Le second et le plus remarquable, c'est de permettre d'opérer sur une quantité de sang très-petite. Ainsi, l'on verra que 80 ou 90 grammes de sang sont la quantité la plus convenable pour déterminer le rapport des globules, de l'albumine et de l'eau. Or, comme les maladies dans lesquelles l'étude chimique du sang offre le plus d'intérêt, sont précisément celles dans lesquelles les malades sont le moins saignés (phthisie, scorbut, chlorose, affections cancéreuses et dégénérescences organiques), on comprend que cette circonstance offre un assez haut degré d'intérêt.

La faible quantité de sang exigée pour l'analyse permettra donc désormais de la soumettre à un examen d'un autre genre, et de rechercher si les altérations chimiques, qui se produisent dans ce liquide sous l'influence des maladies, ne se traduiraient pas par l'apparition de substances nouvelles, ou bien par une modification de nature survenue dans ses éléments habituels. On sait que, par le procédé actuellement suivi, cette recherche n'est pas possible, attendu que la totalité du sang de la saignée se trouve consommée par l'analyse.

Voici maintenant quelques détails nécessaires pour mettre le procédé à exécution.

Le sang fourni par la saignée est battu à sa sortie de la veine, comme dans le procédé de M. Dumas. La fibrine se sépare et vient adhérer aux petits brins du balai. On passe le liquide à travers un linge fin et serré pour séparer la portion de fibrine qui n'adhère pas au balai. Cette fibrine, lavée dans un courant d'eau, ensuite séchée à l'eau bouillante, est pesée après l'avoir traitée, si on le veut, par l'éther pour enlever un peu de matière grasse.

En prenant le poids du sang total de la saignée qui a donné cette quantité de fibrine, on aura le rapport de la fibrine aux autres éléments du sang.

On prend ensuite 80 ou 90 grammes seulement de ce sang défibriné, on l'étend avec environ deux fois son volume d'une dissolution de sulfate de soude, marquant 16 à 18 degrés à l'aréomètre de Baumé, et on le jette sur un demi-filtre pesé d'avance et préalablement mouillé avec la dissolution saline : avec ces précautions, le sérum filtre assez rapidement et avec une couleur jaunâtre.

On comprend que, pour enlever aux globules restés sur le filtre la dissolution de sulfate de soude dont ils sont imprégnés, on ne peut pas laver simplement le filtre, car celle-ci dissoudrait en partie les globules, et la liqueur passerait rouge comme du sang. Mais une propriété particulière aux globules permet de surmonter très-heureusement cette difficulté. Quand on les chauffe jusqu'à 90 degrés, ainsi que l'a déjà vu M. Berzelius, les globules se coagulent en entier, et toute la masse se concrète sans céder à l'eau presque aucune matière organique. Il n'y a donc qu'à placer le filtre dans une capsule contenant de l'eau bouillante en répétant ce traitement deux ou trois fois. Le sulfate de soude est dissous et l'eau n'enlève presque rien aux globules, car la liqueur est à peu près incolore et ne renferme pas de matière organique appréciable par le tanin ou le sublimé corrosif.

Pour séparer l'albumine du sérum filtré, il suffit de le porter à l'ébullition dans une capsule. L'albumine se coagule, on la rassemble dans un petit nouet de linge fin, on la lave et on la pèse après l'avoir séchée à l'eau bouillante.

Enfin, pour déterminer la quantité d'eau contenue dans le sang, on en prend 20 à 25 grammes que l'on évapore à siccité au bain-marie. Le poids du résidu indique le rapport de l'eau et des éléments solides.

Les sels solubles de sérum sont représentés par la différence du poids du sang employé et la somme de l'albumine, de l'eau, de la fibrine et des globules déterminés directement.

Voici l'exemple d'une de ces analyses pour indiquer les proportions de matière sur lesquelles portent les pesées. (Le sang provient d'une malade de la Charité.)

Le sang battu a fourni pour 220 grammes constituant le poids de la saignée, $0^{gr},87$ de fibrine.

D'un autre côté, 80 grammes de ce sang ont donné par la filtration avec le sulfate de soude, $10^{gr},45$ de globules.

Le sérum filtré a donné par la chaleur un coagulum d'albumine pesant $4^{gr},05$.

Comme $30^{gr},7$ de sang évaporé à siccité ont laissé $6^{gr},05$ de résidu, on voit que le sang analysé contient :

Eau	802,9
Globules	130,6
Fibrine	3,9
Albumine	50,6
Sels minéraux ou inorganiques	12,0
	1000,0

Les observations précédentes ont été faites à l'occasion de quelques recherches sur la constitution chimique des globules sanguins dont je dirai un mot en terminant.

On sait que les opinions sont partagées sur la nature chimique des globules sanguins. Plusieurs chimistes adoptent l'opinion de M. Berzelius, qui regarde le globule du sang comme une matière chimiquement homogène et représentant l'*hématosine* ou la matière colorante du sang. L'examen microscopique a conduit d'autres observateurs à regarder le globule du sang des mammifères ou des autres animaux vertébrés comme formé d'un anneau extérieur, ou bien d'un noyau central qui diffère, par sa composition, de la matière colorante elle-même.

Je crois que l'on peut démontrer, dans le globule du sang, l'existence de trois matières bien distinctes : 1° de la matière colorante ou *hématosine ;* 2° de l'albumine ; 3° une petite quantité de fibrine, appartenant sans doute au noyau central admis par quelques physiologistes.

1°. Si l'on traite, en effet, les globules séparés sur un filtre à l'aide de sulfate de soude, froid ou bouillant, par de l'alcool ammoniacal, on dissout très-facilement la matière colorante du sang en laissant un coagulum brun.

C'est même là un procédé extrêmement simple pour obtenir, sans aucune espèce d'altération, la matière colorante du sang. L'évaporation de l'alcool fournit une masse d'un beau rouge de bistre, qui traitée par l'éther pour enlever un peu de matière grasse, offre tous les caractères que M. Lecanu a signalés dans l'hématosine.

2°. Si l'on délaye dans l'eau les globules isolés sur le filtre, on obtient une liqueur rouge de sang qui, filtrée, précipite abondamment par les acides et par l'alcool, et se coagule par l'ébullition. Comme l'hématosine, dans sa dissolution dans l'alcool ammoniacal, ne se coagule point par la chaleur et n'est pas précipitée par l'acide nitrique en excès, il est probable que dans le globule du sang il existe à la fois de l'albumine et de la matière colorante.

3°. Les globules du sang isolés par le sulfate de soude et délayés dans une certaine quantité d'eau, laissent précipiter, au bout de douze heures de repos, une matière rouge qui, lavée par décantation, présente tous les caractères de la fibrine du sang. L'expérience est un peu longue à exécuter avec le sang humain, en raison de l'extrême petitesse de ses globules; mais le fait se constate très-promptement ainsi avec le sang de grenouille. Il suffit de défibriner par l'agitation du sang de grenouille, de le passer à travers un linge serré pour séparer la fibrine, et d'isoler alors les globules en les filtrant avec le sulfate de soude. Ceux-ci, délayés dans l'eau, laissent précipiter au bout de très-peu de temps, de la fibrine en tout semblable à la fibrine déjà retirée par le battage. Muller a de plus montré que le sang de grenouille défibriné et simplement étendu d'eau, laisse précipiter des noyaux semblables, blanchissant par les lavages.

Il est donc probable que les globules du sang contiennent à la fois une petite quantité de fibrine, de l'albumine et de la matière colorante du sang.

Cette constitution était déjà soupçonnée par quelques micrographes.

Je dirai, en terminant, que l'emploi du sulfate de soude ou des dissolutions salines pour isoler et retenir sur un filtre les matières globulaires en suspension dans les liquides organiques, me paraît susceptible de prendre une extension digne d'intérêt, et de s'appliquer avec succès, sinon à l'analyse quantitative, du moins à la séparation des matières complexes qui constituent les liquides animaux, tels que le lait, le mucus, le chyle, la lymphe. Ainsi le lait, traité comme le sang, par le sulfate de soude, laisse sur le filtre toute la matière grasse, et le liquide, après un certain temps, passe limpide et chargé de caséum, susceptible d'être précipité par l'action de l'acide acétique à l'ébullition.

L'analyse médiate des liquides de nature animale offre aujourd'hui assez de difficultés et de complications pour que l'on ne doive négliger aucun des moyens qui peuvent en étendre ou en simplifier les procédés.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES. — JUIN 1844.

JOURS.	9 HEURES DU MATIN.			MIDI.			3 HEURES DU SOIR.			9 HEURES DU SOIR.			THERMOMÈTR.		ÉTAT DU CIEL A MIDI.	VENTS à MIDI.
	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Barom. à 0°.	Therm. extér.	Hygr.	Maxim.	Minim.		
1	752,53	+16,4		751,54	+19,6		750,37	+20,8		750,48	+16,3		+21,8	+10,6	Très-nuageux.........	N. E.
2	750,99	+14,6		750,53	+19,0		749,88	+20,6		750,71	+14,5		+21,5	+10,1	Beau.................	N. N. E.
3	755,74	+11,3		756,23	+13,4		757,39	+12,8		760,08	+10,5		+14,2	+ 9,1	Beau.................	N. N. O. fort.
4	762,44	+11,6		761,65	+15,1		760,77	+17,1		760,44	+14,9		+17,8	+ 5,4	Beau.................	N.
5	758,86	+18,5		757,65	+20,1		756,32	+21,5		755,25	+16,8		+22,5	+ 8,9	Beau.................	S. S. E.
6	754,43	+17,4		754,34	+20,9		754,79	+17,5		756,33	+16,2		+23,0	+11,4	Très-nuageux.........	S. S. O. fort.
7	758,59	+18,0		758,46	+19,8		758,61	+20,4		759,44	+15,4		+21,0	+13,0	Couvert..............	S. O.
8	760,52	+19,7		759,24	+22,2		758,20	+22,5		756,61	+18,7		+23,4	+11,3	Éclaircies...........	S. S. E.
9	756,21	+21,5		756,77	+24,3		756,87	+24,9		759,05	+18,5		+26,9	+14,7	Nuages...............	O. S. O.
10	758,41	+21,0		757,95	+25,0		757,61	+21,8		760,02	+16,5		+27,0	+14,5	Couvert..............	S.
11	762,54	+17,5		762,51	+21,2		761,74	+22,1		761,51	+19,5		+23,2	+10,8	Beau.................	E.
12	761,52	+20,7		761,06	+24,3		761,56	+24,8		761,88	+20,0		+26,8	+12,2	Beau.................	O.
13	760,33	+23,2		760,00	+25,6		759,01	+27,2		759,45	+21,5		+28,5	+14,4	Beau.................	O.
14	760,45	+18,5		760,22	+21,2		759,52	+22,4		759,99	+16,1		+23,7	+15,1	Beau.................	O.
15	759,77	+17,4		759,40	+19,2		759,16	+21,2		760,00	+14,0		+20,5	+11,0	Nuageux..............	N. O.
16	761,82	+17,4		761,59	+18,0		761,09	+19,1		761,75	+14,9		+20,0	+ 9,2	Nuageux..............	O. N. O.
17	761,09	+16,4		759,87	+18,9		757,88	+20,4		755,00	+17,9		+21,5	+ 9,9	Beau ciel............	E. N. E.
18	750,12	+14,6		749,35	+16,0		748,48	+17,1		749,31	+12,2		+18,0	+13,4	Couvert..............	O.
19	753,60	+13,6		754,81	+14,8		756,58	+15,8		759,80	+12,2		+17,7	+11,5	Pluie................	N. O.
20	762,17	+16,2		762,23	+17,8		761,27	+19,3		761,38	+16,9		+19,6	+ 8,9	Couvert..............	O. S. O.
21	759,02	+21,2		757,54	+23,4		755,87	+25,7		753,71	+20,9		+26,8	+12,2	Beau.................	S.
22	752,51	+25,8		752,58	+28,6		752,23	+29,0		752,62	+24,4		+31,4	+17,3	Nuageux..............	S.
23	752,73	+22,3		752,44	+25,3		751,74	+26,8		750,83	+21,6		+28,3	+17,8	Nuageux..............	S. S. E.
24	749,73	+27,4		749,88	+25,4		748,86	+28,8		748,06	+19,9		+30,4	+17,0	Couvert..............	S. S. E.
25	748,92	+19,3		748,21	+20,5		747,50	+18,0		748,37	+13,7		+23,0	+14,2	Très-nuageux.........	O.
26	749,69	+17,4		749,57	+20,8		749,94	+18,3		751,69	+15,2		+22,0	+13,3	Très-nuageux.........	O. S. O.
27	752,21	+15,4		752,21	+15,6		752,56	+16,1		753,31	+14,9		+18,9	+13,0	Pluie continuelle....	O. N. O.
28	756,02	+18,7		756,20	+19,8		756,33	+20,5		757,77	+16,9		+21,9	+13,1	Quelques nuages......	O. N. O.
29	758,30	+18,4		758,13	+20,3		757,66	+22,5		756,69	+18,2		+23,7	+12,6	Très-nuageux.........	N. N. O.
30	753,45	+18,6		752,56	+19,5		752,30	+15,2		751,69	+14,5		+19,8	+14,0	Couvert..............	E. N. E.
1	756,85	+17,0		756,44	+19,9		756,08	+20,0		756,84	+15,8		+21,9	+10,9	... Moy. du 1er au 10	Pluie en cent.
2	759,34	+17,5		759,10	+19,7		758,63	+20,9		759,01	+16,5		+22,0	+11,6	... Moy. du 11 au 20	Cour. 3,711
3	753,26	+20,4		752,93	+21,9		752,50	+22,1		752,47	+18,2		+24,6	+14,5	... Moy. du 21 au 30	Terr. 3,325
	756,38	+18,3		756,16	+20,5		755,74	+21,0		756,11	+16,9		+23,2	+12,3	... Moyenne du mois...... + 17°,7	

TABLE DES MATIÈRES,

Tome XI. (3me Série.)

PLANCHES.

Pl. I. — Emploi de la lumière polarisée pour étudier diverses questions de mécanique chimique. — Sur l'urane et sur quelques sels doubles formés par ce métal.

Pl. II. — Des lois qui président à la décomposition électro-chimique des corps. — Batterie voltaïque à gaz. — Cause de son action et son application à l'eudiométrie.

Pl. III. — Mémoire sur les forces élastiques de la vapeur aqueuse.

Pl. IV. — Mesure de la force nerveuse développée par le courant électrique. — Recherches sur la concentration de la force magnétique vers les surfaces des corps magnétisés. — Sur la respiration des granivores. — Mémoire sur la végétation.

ERRATA. — Tome X.

Page 483, ligne 2 de la note, *au lieu de* instables, *lisez* très-stables.

Page 79, lignes 10 et 11, *au lieu de* 25 degrés ou 3 pour 100, *lisez* 25 degrés ou 30 degrés.

Page 81, ligne 26, *au lieu de* 48 degrés de cuivre dissous à 34 degrés, *lisez* 48 équivalents de cuivre dissous à 34 équivalents.

FIN DE LA TABLE DU TOME ONZIÈME.

IMPRIMERIE DE BACHELIER,
Rue du Jardinet, n° 12.

...teires α de l'acide ... cid; les proportions pondérales d'eau e,
...tème de combinaison ... ent. ... Mémoire de M. Biot.

... e = 3 ε

...ternaires où e = 3

Fig. 6.

Sy... doubles, par M. G. Wertheim.

Fig. 3.

o
o'
o''
o'''

Gravé

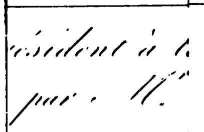


Fig. 3.

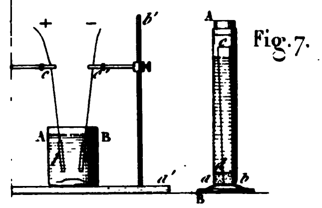
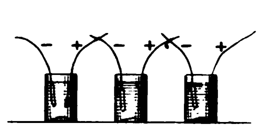


Fig. 7.

Fig. 8.



...g. — Caustrie.

par

...5.

Fig.

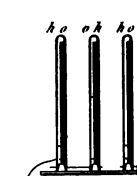
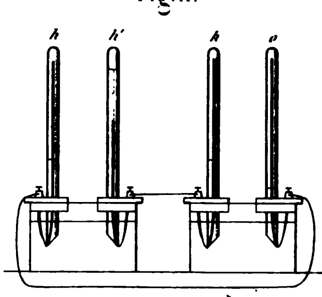


Fig. 11.



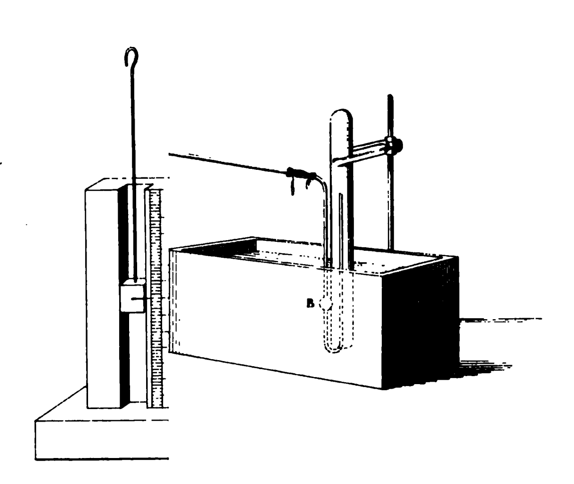
E. Wormser sc.

V

T"

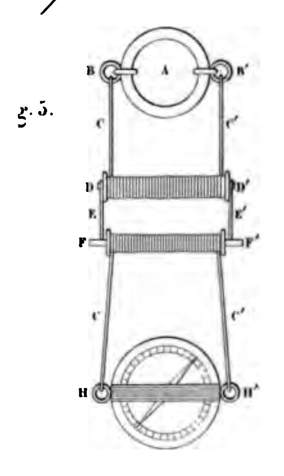
V

...loppé par le ... végétation.
...Matteucci ... et ... Ferrand.



...ur la concentration de la force magnétique
... les surfaces des corps magnétisés.
par M.r de Haldat.

...g. 5.

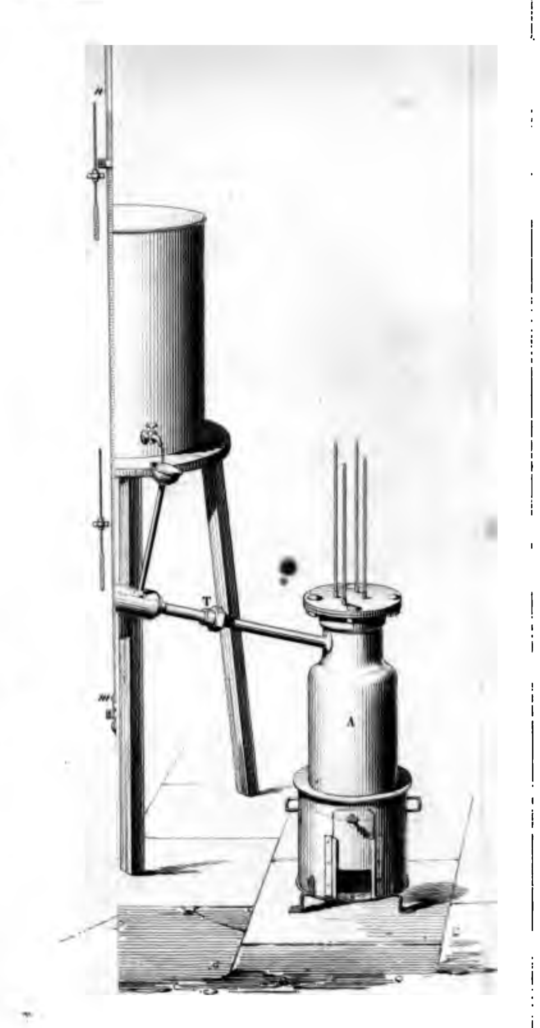


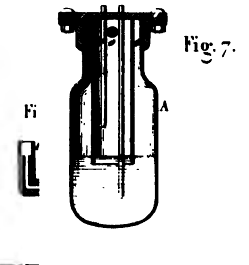




Pl. III.

...stiques de l...





Gravé par E. Wormser.

